Promoteurs
Professeur André De Herde
Professeur Denis Zastavni

Président du jury
Professeur Jean Stillemans (UCL, LOCI)

Membres du jury
André De Herde (UCL, LOCI)
Denis Zastavni (UCL, LOCI)
Louis Laret (SECO)
Benoit Thielemans (UCL, LOCI)
Sophie Trachte (UCL,LOCI)

DÉCHETS DE CONSTRUCTION, MATIÈRES À CONCEPTION

Analyse des stocks et flux de matières dans le cadre des opérations de rénovation énergétique en Région de Bruxelles-Capitale

Thèse présentée par
GOBBO Émilie
en vue de l'obtention du grade de docteur en art de bâtir et urbanisme

Université catholique de Louvain
Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme
Cellule de recherche - Architecture et Climat

Louvain-la-Neuve, novembre 2015

Recherche financée par Innoviris
Institut Bruxellois pour la Recherche et l'Innovation
dans le cadre du programme Prospective Research for Brussels (Anticipate)

RÉSUMÉ

Promouvoir une gestion efficiente de nos ressources par l'économie et la préservation de ces dernières ainsi que par la réduction de la production de déchets et leur valorisation est une des lignes d'action poursuivie par l'Union Européenne. De plus, le contexte énergétique actuel rend essentielle la rénovation du parc immobilier ancien et énergivore. En Belgique, et plus particulièrement en Région de Bruxelles-Capitale (RBC), l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments est d'ailleurs encouragée par de nombreux incitants financiers. Elle est en outre soumise à la règlementation sur la performance énergétique des bâtiments (OPEB), dont une nouvelle mouture a récemment été réalisée sous le terme de Code Bruxellois de l'Air, du Climat et de la maîtrise de l'Energie (CoBrACE). Lors de toute rénovation, la question énergétique semble être au centre de toutes les attentions. Cependant, outre le gain énergétique réalisé durant l'occupation du bâtiment grâce à l'amélioration des performances du bâti, le processus de rénovation signifie également une consommation de matières premières et une génération de déchets importante.

Les choix constructifs et de conception jouent un rôle prépondérant dans la production de déchets et l'utilisation de ressources. Or, le déchet constitue actuellement un potentiel sous-estimé et sous-exploité de ressources locales. L'intégration de la fin de vie des éléments dans la conception est essentielle pour favoriser la réintroduction de ces derniers dans de nouveaux cycles. Outre l'écodesign, outil important dans un objectif de bouclage des flux, l'identification et la quantification des stocks et flux matériels représentent également une étape incontournable à l'atteinte de cet objectif. Ces approches rejoignent en outre les notions de métabolisme urbain, urban mining et d'économie circulaire actuellement encouragées par l'UE. Parallèlement, un questionnement de nos pratiques et interventions architecturales actuelles doit être opéré: que sommes-nous en train de mettre en oeuvre qui pourrait constituer, à terme, des déchets en puissance ou des ressources potentielles ? Pour répondre aux enjeux relatifs à l'épuisement des ressources et la production sans cesse croissante de déchet, pourquoi ne pourrions-nous pas considérer le bâtiment comme gisement de matières susceptibles de représenter à l'avenir des ressources locales ? En tant que concepteurs, la démarche principalement basée sur un objectif de performance énergétique doit donc s'élargir et intégrer la notion de matière, comprenant ressources et déchets valorisables.

Au regard du contexte et des enjeux actuels, l'objectif poursuivi par cette thèse est de replacer la question de la « matière » (comprenant ressource et déchet) au même titre que la question énergétique si présente dans nos processus d'intervention. Plus particulièrement, nous interrogeons à cet égard la rénovation définie comme « exemplaire » en Région de Bruxelles-Capitale. Par l'identification des tendances d'intervention et l'analyse qualitative et quantitative des flux engendrés par l'opération (appelé *bilan matière*), nous souhaitons comprendre l'influence de nos inter-

ventions actuelles sur le gisement matériel que constitue le bâtiment. En outre, la réalisation du *bilan matière* de la rénovation constitue une étape préalable à une meilleure connaissance des stocks et flux matériels à l'échelle du bâtiment, mais également à l'échelle régionale. Les données permettant la compréhension des dynamiques de flux et des gisements, pourtant indispensables à la mise en place d'une gestion intégrée et efficiente de nos ressources et déchets, sont en effet actuellement incomplètes, insuffisantes ou inexistantes. En outre, la connaissance des stocks matériels ne suffit pas à assurer la valorisation de ces derniers en fin de vie. C'est pourquoi cette recherche propose de compléter le *bilan matière* par une évaluation de la *« valorisabilité »* des éléments construits. Considérée de façon complémentaire aux objectifs énergétiques et impacts environnementaux, cette évaluation permet de rendre compte du potentiel (théorique) de valorisation que constituent les différentes solutions d'amélioration, élargissant ainsi le champ de vision à la notion de matière en fin de vie comme ressource.

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage, comme toute thèse, est un travail de longue haleine, un travail d'endurance même. La route est semée de doutes et de questionnements, mais elle est également riche et stimulante intellectuellement. Si je peux aujourd'hui considérer que la route touche à sa fin, celle-ci n'aurait pu survenir sans l'aide et le concours de nombreuses personnes.

C'est pourquoi je tenais à remercier tout d'abord mes promoteurs de thèse, André De Herde et Denis Zastavni, pour la confiance et la liberté qu'ils m'ont accordée dans ce travail. Je remercie tout particulièrement André pour sa vision stratégique et de synthèse, ainsi que pour sa compréhension et son respect quant aux priorités à donner dans le travail et la vie privée. Je souhaitais également remercier mon comité d'accompagnement Sophie Trachte, Louis Laret et Benoit Thielemans pour leur bienveillance, ils m'ont fourni soutien et conseils aux moments opportuns. Merci à Benoit Thielemans qui, le premier, m'a encouragée à me lancer dans cette aventure. Merci à Louis Laret pour ses conseils quant à la structure et l'importance de se fixer des priorités et des échéances. Merci enfin à Sophie qui m'a suivie de si près pendant toutes ces années, merci pour ton écoute, ton soutien et tes encouragements au quotidien, mais aussi pour ta disponibilité, ton expertise dans le domaine et tes conseils avisés.

N'oublions pas de citer la formidable équipe au sein de laquelle j'ai pu évoluer ces dernières années. Merci à tous mes collègues d'Architecture et Climat pour leur accueil et les échanges particulièrement enrichissants que j'ai pu avoir. J'ai tout spécialement apprécié de travailler au sein de cette équipe de recherche. Avec une spéciale dédicace au bureau des filles: votre écoute, vos encouragements, votre aide (regard critique, références, conseils, graphisme…) m'ont été très précieux durant ces quatre années. Sophie, Sylvie, Catherine, Coralie, Arnaud, Cédric, Ambroise, Marie-Hélène, José, Paul, David, Pipé... à tous, merci !

Ensuite, il me faut remercier l'organisme sans lequel cette recherche n'aurait pas eu lieu. Merci donc à Innoviris pour son soutien financier et l'attention dont les membres du personnel ont fait preuve quant aux demandes formulées. J'espère que cette recherche permettra d'alimenter quelque peu la réflexion pour tendre vers une ville plus efficiente dans la gestion de ses ressources. Merci également à Bruxelles Environnement pour son intérêt et sa collaboration dans la communication d'informations. Je citerais entre autres, Alissia Tassiopoulou, Céline Schaar, Caroline Henrotay, Nicolas Scherrier, Nathalie Perrault.

Je voudrais également remercier les acteurs du secteur, architectes, entrepreneurs, fabricants de matériaux et chercheurs qui m'ont consacré une partie de leur temps, m'ont communiqué des informations précieuses et ont partagé avec moi leurs

connaissances et expériences. Je pense particulièrement à Gérard Bedoret, Maxime Liégeois, Sébastien Breels, Thomas Goetghebeur, Philippe Abel, Gwenola Villet, Lorella Patienza, Marc Opdebeeck, J-P Possoz & Matthieu Loncke, Simon Saeys, Daniel De Vroey, André Baivier, Paul Eykens, Geoffrey Houbart, Vincent Briard & Frédéric Delcuve, … mais aussi Aristide Athanassiadis, Lionel Billiet, Anne Paduart, Wim Debacker et Jeroen Vrijders. Je ne peux malheureusement citer toutes les personnes rencontrées ces dernières années et qui ont pu contribuer de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse par une aide, un encouragement ou une inspiration. À toutes ces personnes, merci aussi.

Je voudrais évidemment remercier ma famille, ma belle-famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel, ils m'ont écoutée dans les moments plus difficiles sans jamais douter de moi. Merci aux « perles » gardiennes de mes enfants, maman, Anne-So, Dominique et Luc. Merci à mon équipe de lecteurs et traducteurs, ma mère, mon père, Isabelle, Tony, poussin et Laurence. Merci à Geof, qui a assisté aux premières loges à tout ce long processus de réalisation avec flegmatisme et optimisme, merci d'avoir cru en moi et de t'être rendu disponible, surtout durant ces derniers mois!

Enfin, merci de tout mon cœur à mes amours, Arthur et Margaux qui ont ponctué cette thèse de doctorat de leur arrivée dans ce monde. Ils m'ont donné la force de continuer et m'ont permis de prendre le recul nécessaire lorsque la fin de cette thèse m'apparaissait inaccessible et quand les doutes m'ont assaillie.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ 5

REMERCIEMENTS 7

TABLE DES MATIÈRES 9

INTRODUCTION 17

PARTIE 1: CADRE THÉORIQUE 29

1.0. INTRODUCTION 31
1.1. ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE 32
1.1.0. Introduction/Genèse 32
1.1.1. Objectifs et échelles d'action 33
1.1.2. Outils 33
1.1.3. Développement des principes et applicabilité à l'architecture 36
1.1.4. Exemples d'application 38
1.1.5. Analyse critique 38
1.1.6. Regard posé sur l'architecture et le secteur de la construction 39
1.2. CRADLE TO CRADLE 41
1.2.0. Introduction/Genèse 41
1.2.1. Objectifs et échelles d'action 41
1.2.2. Outils 43
1.2.3. Développement des principes 43
1.2.4. Exemples d'applications 45
1.2.5. Analyse critique 46
1.2.6. Regard posé sur l'architecture et la construction 47
1.3. 4Dimensional Design Strategy 49
1.3.0. Introduction 49
1.3.1. Objectifs et échelle d'action 50
1.3.2. Outils 50
1.3.3. Développement des principes 52
1.3.4. Exemples d'application 53
1.3.5. Analyse critique 54
1.3.6. Regard posé sur l'architecture et la construction 54
1.4. CONCLUSIONS 55

PARTIE 2: LE DÉCHET-MATIÈRE 59

2.0. INTRODUCTION 61
2.1. SPECIFICATIONS CONCERNANT LE TERME DÉCHET 62
2.1.1 Définition 62
2.2. NAISSANCE-ÉVOLUTION-PERSPECTIVES 66
2.2.1. La ville, gisement de matières premières 67

2.2.2. Séparation des liens entre ville, industrie et agriculture 68
2.2.3. Le déchet comme nécessité 69
2.2.4. Architecture et palimpseste 70
2.2.5. Déchet et matériau 71
2.3. LÉGISLATION-RÉGLEMENTATIONS 72
2.3.1. En Europe 72
2.3.2. En Région de Bruxelles-Capitale 75
2.3.3. Références et outils non réglementaires relatifs aux déchets 78
2.4. IDENTIFICATION-CLASSIFICATION 84
2.4.1. Identification des fractions 85
2.4.2. Classification 93
2.5. SOURCES ET CAUSES DE GÉNÉRATION DES DÉCHETS DE C&D 96
2.6. ACTEURS 97
2.6.1. Temporalité d'intervention 98
2.6.2. Producteurs et distributeurs (P&D) 100
2.6.3. Architectes (A) 101
2.6.4. Maîtres d'ouvrage (MO) 103
2.6.5. Entrepreneurs (E) 103
2.6.6. Ingénieur (stabilité et techniques spéciales) 104
2.6.7. L'expert/conseiller en déchets 105
2.6.8. Le législateur / l'administration 105
2.7. ÉTAPES ET FILIÈRES 107
2.7.1. Prévention 107
2.7.2. Démantèlement sélectif et déconstruction (ou démontage) 108
2.7.3. Tri sélectif et collecte sélective 109
2.7.4. Valorisation 113
2.7.5. Élimination 119
2.8. L'ARCHITECTE, VALORISATEUR 121
2.8.1. Quels sont les déchets in situ pouvant représenter des ressources matérielles? 121
2.8.2. Quels sont les déchets produits à proximité pouvant représenter des ressources matérielles locales? 123
2.8.3. Quels sont les déchets ou ressources futurs que nous mettons en oeuvre aujourd'hui? 126
2.9. CONCLUSIONS 127

PARTIE 3: BILAN MATIÈRE 131

3.0. INTRODUCTION 133
3.1. OBJECTIFS ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 134
3.2. DÉFINITION DE L'OBJET D'ÉTUDE 136
3.2.1. Types de bâtiments représentatifs de la RBC 136
3.2.2. Objectifs énergétiques de la RBC 140

3.2.3. Objet d'étude de la recherche 143
3.3. DÉCOMPOSITION DU BÂTIMENT 144
3.3.1. La théorie de stratification de S.BRAND 145
3.3.2. Décomposition en fonction des critères d'intervention 147
3.4. CARACTÉRISATION DES INTERVENTIONS DE RÉNOVATION 150
3.4.1. Principes d'intervention pour l'amélioration des performances thermiques 150
3.4.2. Données fournies par les projets BATEX 155
3.4.3. Tendances observées dans les types d'intervention de démolition 157
3.4.4. Tendances observées dans le choix des matériaux isolants 161
3.4.5. Tendances observées dans les équipements installés 163
3.4.6. Influence des tendances d'intervention sur les flux de matières 163
3.5. BÂTIMENT ET BILAN MATIÈRE 166
3.5.1. Méthode d'analyse du bâtiment rénové et de son bilan matière 166
3.5.2. Analyse approfondie du projet n°1: Application 173
3.6. IMPLICATION DE L'UTILISATION DE RATIOS A L'ÉCHELLE RÉGIONALE 186
3.6.1. Les ratios des bilans matières, un outil d'extrapolation? 186
3.6.2. Exercice d'utilisation de l'outil ratio sur base du projet étudié 187
3.7. CONCLUSIONS 190

PARTIE 4: POTENTIEL MATIÈRE 193

4.0. INTRODUCTION 195
4.1. OBJECTIFS ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 197
4.2. PAROIS TYPES ET FRACTIONS CLÉS 200
4.2.1. Parois Types et fractions clés de l'existant 200
4.2.2. Parois Types et fractions clés de la situation projetée 204
4.2.3. Conclusions 211
4.3. *VALORISABILITÉ* DES ÉLÉMENTS CONSTRUITS: PROPOSITION D'UN SYSTÈME D'ÉVALUATION QUALITATIVE DES PAROIS 213
4.3.1. Objectifs de valorisation 213
4.3.2. Paramètres d'influence et structuration 214
4.3.3. Échelles considérées 237
4.3.4. Unités considérées 237
4.3.5. Méthodologie d'évaluation 237
4.3.6. Évaluation de la *« valorisabilité »* des parois types: résultats 242
4.3.7. Synthèse des résultats et conclusions 282
4.4. ÉCOBILAN DES ÉLÉMENTS CONSTRUITS: ÉVALUATION QUANTITATIVE DES PAROIS 291
4.4.1. Méthodologie proposée 291
4.4.2. Évaluation environnementale des parois types: résultats 296
4.4.3. Synthèse des résultats et conclusions 311

4.5. RENCONTRE ENTRE *VALORISABILITÉ* ET ÉCOBILAN **315**
4.5.1. Façade 315
4.5.2. Toiture à versant 316
4.5.3. Toiture plate 317
4.5.4. Dalle sur cave 318
4.5.5. Dalle sur terre-plein 319
4.5.6. Synthèse des résultats et conclusions 320
4.6. VERS UNE OPTIMISATION: FREINS ET OPPORTUNITÉS **322**
4.6.1. Déchets ou ressources d'aujourd'hui 323
4.6.2. Déchets ou ressources de demain 337
4.6.3. Freins et contraintes 356
4.6.4. Opportunités d'action et de responsabilisation: outils existants 368
4.7. CONCLUSIONS **377**

CONCLUSIONS **381**
BIBLIOGRAPHIE **397**
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES, ACRONYMES **409**
LISTE DES FIGURES **415**
LISTE DES TABLEAUX **421**
ANNEXES **425**

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Contexte général

Notre économie européenne nécessite une importante quantité de ressources pour son fonctionnement dont près de 30% sont issus de l'importation (minéraux, métaux, bois, combustibles fossiles,...). L'utilisation annuelle en ressources matérielles est estimée à 16 tonnes par habitant pour l'Europe des 27. Parallèlement à cette consommation intensive et comme conséquence directe de cette dernière, nous produisons en Europe pas moins de 6 tonnes de déchets par personne et par an [SERI, 2009]. Malgré les efforts consentis pour une gestion de plus en plus efficace, ces chiffres ne cessent de croître. Une étude européenne réalisée en 2009 évalue l'augmentation des extractions de ressources entre 2005 et 2030 à 75% : les 58 milliards de tonnes extraites en 2005 atteindraient donc plus de 100 milliards de tonnes en 2030 [SERI, 2009]. La croissance économique est un indicateur clé de l'utilisation intensive des ressources et de la génération de déchets. En effet, une diminution de la production de déchets ménagers et de la consommation de matière est généralement observée durant les périodes de récession et de croissance économique lente. Par ailleurs, l'Europe est devenue l'un des plus gros importateurs de ressources et déplace ses charges environnementales principalement en dehors de ses frontières. Dans le contexte actuel, assurer une sécurité d'approvisionnement est devenu un enjeu économique et stratégique majeur pour l'Europe [EEA, 2010].

La consommation croissante de ressources combinée à l'augmentation de la production de déchets ont des conséquences dévastatrices sur nos écosystèmes à l'échelle globale. Il devient dès lors incontournable de développer une règlementation efficace de gestion intégrée des ressources et des déchets. Dans ce cadre, la stratégie "Europe 2020" a développé en 2011 une feuille de route pour "*Une Europe efficace dans l'utilisation de ses ressoures*"[1] qui définit des objectifs à moyen et long terme pour l'Union Européenne (UE). Cette feuille de route confirme la position prise dans la Directive Cadre de 2008 concernant la hiérarchie d'action, et vise entre autres pour 2020 la valorisation du déchet comme une ressource avec un objectif préalable de prévention. Les mesures proposées sont la réduction de la production de déchets à la source et la réalisation d'une collecte sélective pour la réutilisation ou la transformation des déchets en *matières premières secondaires* par le recyclage. Un des secteurs clés défini par cette feuille de route concerne le secteur de la construction & démolition (C&D). En 2014, la Commission a publié un document "*sur les possibilités d'utilisation efficace des ressources dans le secteur de la construction*"[2] et qui porte sur les objectifs suivants: la réduction de l'utilisation des ressources dans les bâti-

1 - Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions du 20 septembre 2011

2 - Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions du 1er juillet 2014 (COM(2014) 445 final)

ments, l'élaboration d'une approche européenne commune en matière d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments et un meilleur fonctionnement du marché des matériaux de construction recyclés. En outre, la communication de la Commission "*Vers une économie circulaire: programme zéro déchet pour l'Europe*", publiée également en 2014, vient renforcer la position de l'Europe par rapport à la gestion des ses ressources et de ses déchets[3].

La problématique de la gestion des ressources et celle des déchets représente un enjeu européen particulièrement important. Bien que traité plus récemment que les questions énergétiques, les positions prises par l'U.E à ce sujet s'ajoutent et complètent les mesures déjà enclenchées au niveau des économies d'énergie. Rappelons que les objectifs de l'Union Européenne pour 2020 fixent une réduction de 20% de la production de gaz à effet de serre (par rapport à 1990) et de 20% de l'énergie primaire par l'efficacité énergétique ainsi qu'une proportion de 20% de la consommation énergétique provenant d'énergies alternatives. En octobre 2014, les dirigeants de l'U.E ont convenu de revoir l'objectif de réduction de la consommation énergétique à la hausse. Ainsi, d'ici 2030, le dessein visé par la Commission est d'atteindre une économie d'énergie d'au moins 27%. Concernant le secteur du bâtiment, l'U.E estime qu'une diminution de 30% de la consommation d'énergie est réalisable[4].

Le parc immobilier européen (Norvège et Suisse inclues) représente une surface bâtie estimée à 25 milliards de mètres carrés, dont 75% sont dédiés au secteur résidentiel, et dont 40% ont été construits antérieurement à 1960 soit avant le choc pétrolier de 1973 (les considérations énergétiques et environnementales n'étaient alors pas encore à l'ordre du jour). De plus, le secteur européen de la construction représente environ 40% de la consommation en énergie, 40% des matières premières extraites et 15% de l'utilisation en eau. Il est en outre responsable de près de 40% des émissions de gaz à effet de serre et génère pas moins de 35% de l'ensemble des déchets solides produits à l'échelle européenne[5]. Au regard des impacts considérables dont le secteur de la construction est responsable, nous comprenons pourquoi il a été défini comme un secteur clé d'action. La majeure partie du problème réside dans la rénovation du parc immobilier existant se caractérisant par une consommation importante d'énergie et une forte production de gaz à effet de serre. La rénovation énergétique du patrimoine bâti représente donc un potentiel considérable en matières d'économie d'énergie, de matière, d'émissions polluantes mais également en termes économiques et sociaux (créations d'emplois, confort, qualité d'air intérieur,...). En outre, le nombre annuel de constructions neuves dans nos pays développés concerne à peine quelques pourcents comparativement au renouvellement du stock immobilier

3 - Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions du 2 juillet 2014 (COM(2014) 398 final)

4 - Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions du 23 juillet 2014 - (COM(2014) 520 final)

5 - Source: abstract pour la 'European Conference on Sustainable Renovation of Buildings' organisée les 16 et 17 février 2012 à Karlsruhe.

existant [PADUART, 2012]. Si nous devions considérer le renouvellement total du parc immobilier existant par la construction de bâtiments neufs plus performants, d'une part cette opération ne pourrait être réalisée qu'endéans 50 à 100 ans (considérant le taux annuel actuel de construction) et d'autre part, elle aurait pour conséquence d'exercer une pression encore plus importante sur la consommation de ressources et la production de déchets. La problématique énergétique devrait donc être considérée de façon indissociée de la problématique des ressources et déchets.

Or, actuellement, les politiques existantes concernant le secteur de la construction se basent essentiellement sur la promotion de l'efficacité énergétique et la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables. Depuis quelques années, un intérêt croissant est accordé à des études et des analyses plus larges intégrant l'évaluation des impacts environnementaux et des consommations d'énergie liés à la production des matériaux de construction (LCA, LCC,...). Cette approche permet d'intégrer l'impact de la production des matériaux dans une vision plus globale, et elle a pour avantage de conscientiser le secteur à la mise en pratique de choix responsables. Pour encourager une utilisation efficace des ressources, il semble primordial d'intégrer ces problématiques le plus en amont possible du projet. Le déchet constitue en ce sens un potentiel sous-estimé et sous-exploité de substitution de matières voire d'outil de conception.

Contexte bruxellois

Globalement, la région bruxelloise présente les mêmes tendances qu'au niveau européen, à savoir une consommation en matières premières et une production de déchets croissantes particulièrement dans le secteur de la construction, une dépendance concernant son approvisionnement et le traitement de ses déchets, un parc immobilier ancien et énergivore.

En outre, la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) se caractérise par une densité de population importante et un territoire fortement urbanisé soit 56% de surface bâtie [IBGE, 2010_A]. L'urbanisation croissante entraîne une pression importante sur la demande en logements. Le patrimoine immobilier caractérisé principalement par des bâtiments antérieurs à 1970 et un secteur résidentiel prépondérant est particulièrement énergivore [CERAA,2008]. Dans le contexte actuel de la problématique environnementale, l'encouragement d'une rénovation intensive et d'une utilisation rationnelle de l'énergie afin de réduire les consommations énergétiques importantes du secteur sont des priorités d'action pour la région. Dans cette optique, la RBC s'est fixé de nombreux objectifs soutenus par la mise en place de réglementations, de campagnes de sensibilisation et d'incitants financiers (primes à la rénovation, primes énergie, ...). Nous retiendrons principalement l'Ordonnance sur la Performance Energétique des Bâtiments et qualité d'air intérieur (OPEB) d'application depuis juillet 2008 et récemment remplacée par le CoBrACE (Code Bruxellois de l'Air, du Climat,

et de la maîtrise de l'Energie) début 2015. Cette réglementation fixe toute une série d'exigences inspirées du standard passif en matière de performance énergétique (en ce compris les installations techniques, et ponts thermiques) mais également en matière de qualité d'air et climat intérieur (ventilation, surchauffe). En outre, depuis 2010, tout bâtiment public doit répondre au standard passif. Nous retiendrons aussi l'appel à projets Bâtiments Exemplaires lancé entre 2007 et 2013 et qui a permis le développement de l'application du standard passif et basse énergie en quelques années à Bruxelles. Pour un budget global de plus de 33 millions d'euros, les six appels à projets ont rassemblé pas moins de 243 projets pour un total de 621.000 m^2 construits vers le passif ou rénovés au minimum vers le niveau basse énergie[6].

Concernant la problématique du déchet, le secteur de la construction & démolition (C&D) est de loin le plus gros producteur de déchets de la région avec 628.000 tonnes estimées soit plus du tiers des déchets produits par la région [IBGE, 2006]. La fraction principalement produite concerne les inertes (béton, maçonnerie, asphalte,...) avec 96% du flux total. Malgré cette production importante, le taux de recyclage des déchets de C&D est actuellement estimé à plus de 80%, dépassant ainsi l'objectif de 70% fixé par l'Union Européenne. La région va même plus loin en ambitionnant un résultat de 90% (en poids) de recyclage [IBGE, 2010_A]. Ces taux relativement élevés s'expliquent par une obligation de recyclage de la fraction pierreuse qui représente presque la totalité en poids des déchets de C&D de la région. Les filières de recyclage concernant cette fraction sont aujourd'hui bien développées et bien installées, l'objectif étant la production de granulats recyclés dont l'utilisation est bien réglementée: utilisation comme remblais et sous-couches d'infrastructures routières principalement. Cependant, l'utilisation finale de ces matières premières secondaires concerne des applications de moindre valeur que le matériau initial, opération communément appelée *downcycling* [BRAUNGART, 2011]. En outre, bien que certaines fractions actuellement produites présentent des taux de recyclage importants (inertes et métaux principalement), même s'il s'agit de *downcycling*, nous devons garder en tête qu'à l'avenir, la nature et la gamme des déchets à traiter risque bien de s'élargir et de se complexifier.

Dans ce contexte de développement urbain où la rénovation et la réhabilitation d'anciens bâtiments représentent un défi majeur, la minimisation de la production de déchets et de l'utilisation des ressources ainsi que la maximisation de la valorisation par le recyclage et le réemploi des matériaux prennent toute leur importance. Pour ce faire, les matériaux doivent pouvoir être séparés en fractions recyclables et réutilisables. C'est pourquoi il est indispensable d'identifier, préalablement au début des travaux, le potentiel offert par la construction : matériaux réutilisables, recyclables ou contaminés à éliminer[7].

6 - Source: www.environnement.brussels.

7 - Plan de prévention et de gestion des déchets de Bruxelles Environnement, mai 2010.

CHAMP DE LA RECHERCHE

Ce travail s'inscrit dans ce contexte spécifique à la Région de Bruxelles-Capitale dont la situation est relativement semblable à d'autres villes européennes: urbanisation et démographie croissantes, patrimoine bâti important, ancien et fortement consommateur en énergie. A l'heure actuelle, la rénovation du parc immobilier vers des performances énergétiques plus élevées est devenue indispensable. Dans ce cadre, et pour répondre aux objectifs européens de réduction des consommations en énergie primaire, la région bruxelloise a parallèlement mis en place des programmes incitatifs à la rénovation (aides financières) et un cadre réglementaire qui a peu à peu évolué vers des exigences de plus en plus élevées. Plus particulièrement, la rénovation énergétique du parc résidentiel représente un enjeu majeur pour la région étant donné la prédominance de logements et leur part de responsabilité dans la consommation en énergie. A la fois, le secteur de la construction est déjà à l'origine d'une part considérable de matières premières consommées et de déchets produits. L'encouragement de la renovation va certes avoir pour effet la diminution de la consommation en énergie durant l'occupation du bâtiment mais aura également pour conséquence d'accentuer l'impact du secteur sur la consommation de ressources et la production de déchets.

Dans le cadre de cette recherche, nous nous intéresserons plus spécifiquement aux cas des bâtiments de logement antérieurs à 1945 puisqu'ils constituent environ 65% du parc résidentiel bruxellois [ATHANASSIADIS, 2014]. Le type construit de la maison bourgeoise constitue par ailleurs une part importante de ce parc avant-guerre. Dans les parties 3 et 4, nous étudierons donc des cas concrets de rénovation énergétique visant des critères de performance élevés (basse énergie à passif), non pas en termes d'énergie mais analysés sous l'angle de la matière (matières neuves et déchets).

Notre échelle d'analyse concerne donc le bâtiment comme unité d'ensemble, mais la démarche aborde également les éléments constitutifs de la construction: composantes, layers et matériaux. De cette façon, nous souhaitons développer une approche *bottom-up* permettant d'intégrer une vision à plus large échelle.

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Afin d'apporter une réponse plus globale aux enjeux présents et futurs liés au secteur constructif, intégrer la notion de matière (comprenant ressources et déchets comme ressources) à celle d'énergie devient incontournable pour tout projet d'architecture. C'est en tout cas l'objectif poursuivi par la présente étude qui propose d'appréhender le bâtiment comme un stock de matériaux potentiellement réutilisables. A une échelle plus large, cela reviendrait à considérer le bâti construit comme un gisement de matières pouvant représenter des ressources locales potentielles. Cependant, pour que des matières puissent un jour constituer des ressources plutôt

que des déchets et rejoindre les cycles de valorisation (réemploi, recyclage), la notion de fin de vie doit pouvoir être intégrée dès le stade de conception des produits mais également des bâtiments. Or, lorsqu'un projet est construit, sa démolition ou sa déconstruction ultérieure est rarement considérée. Les concepteurs, tout comme les maîtres d'ouvrage, abordent la construction dans une optique à court terme: répondre à un besoin présent dans les plus brefs délais en respectant le budget. Toutefois, dans le contexte actuel, prévoir l'adaptabilité dans le temps de la construction et sa valorisation en fin de vie constitueront bientôt des considérations incontournables. La conception constitue en ce sens un outil clé d'action. Un changement doit donc s'opérer dans notre façon de concevoir les bâtiments afin d'engager une vision prospective et à long terme, ainsi que d'accélérer la transition vers une utilisation "efficiente" de nos ressources locales. En outre, nos opérations de rénovation influencent irrémédiablement les stocks et flux de matières actuels mais aussi futurs. Cette prise de conscience constitue un premier pas vers un changement devenant indispensable et qui devrait pouvoir toucher l'ensemble du secteur.

En considérant le cadre théorique de la recherche comme base de réflexion et face à la problématique énoncée, la recherche pose plusieurs questions et hypothèses formulées ci-après. La première question est d'ordre général alors que les suivantes concernent plus spécifiquement le secteur de la construction et les concepteurs:

1. Le déchet peut-il constituer une ressource et être valorisé comme tel? Est-il possible d'atteindre un bouclage des flux tel qu'annoncé par les théories étudiées. Ce précepte permettrait de répondre aux enjeux précédemment cités.
2. A travers la rénovation énergétique, quels matériaux et produits mettons-nous en œuvre aujourd'hui qui pourraient constituer à terme des déchets ou des ressources potentielles ? Dans la course à la performance énergétique, par ailleurs entièrement justifiée et indispensable, ne négligeons-nous pas l'impact de nos choix conceptuels sur les possibilités futures de valorisation des éléments construits, influençant directement la consommation de ressources et la production de déchets? PARTIES 3 & 4
3. Ensuite, face aux récentes réglementations énergétiques encourageant l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments, une autre question se présente : quelles conséquences porteront nos processus de rénovation énergétique sur les flux et stocks de matière? PARTIE 3
4. Parallèlement, quels impacts environnementaux auront les différentes possibilités d'amélioration thermique de l'enveloppe qui s'offrent aux concepteurs et maîtres d'ouvrage ? PARTIE 4
5. Pouvons-nous évaluer le potentiel de valorisation ou la *valorisabilité* des éléments que nous mettons en œuvre et ce, dans le but d'encourager au maximum la valorisation de la matière en fin de vie (communément appelée "déchet") comme ressource ? PARTIE 4

Toutes ces considérations questionnent nos pratiques actuelles d'intervention et les politiques de rénovation mises en oeuvre. Effectivement, dans le présent contexte, la conscientisation énergétique devrait s'accompagner d'une conscientisation relative à la "valeur" de la matière pour ce qu'elle a coûté en énergie, en ressources pour sa fabrication initiale et pour ce qu'elle pourrait coûter en déchets à traiter en fin de vie. Au regard des chiffres communiqués et de leur évolution, il devient urgent d'agir dans le sens d'une réduction des déchets produits et d'une préservation et valorisation des ressources locales potentielles, contenues entre autres dans nos bâtiments. Ces ressources matérielles sont actuellement inexploitées par méconnaissance du gisement à disposition. Avant de pouvoir prétendre à une gestion optimale de ces stocks et flux matériels par le bouclage, et donc par la valorisation des déchets comme ressources, il nous faut connaître la situation initiale et donc analyser le gisement ou stock matériel en présence.

L'hypothèse formulée dans ce travail propose d'appréhender le bâtiment comme un stock, un gisement de ressources matérielles en attente d'une potentielle réutilisation ultérieure. Cette hypothèse rejoint en outre les concepts théoriques étudiés en partie 1 ainsi que les notions de métabolisme urbain et d'urban mining. En intégrant la notion de temps dès le stade de la conception, nous pouvons augmenter de façon considérable les opportunités de ressources futures offertes par le bâti. La valorisation de nos ressources locales, la création de circuits courts, l'encouragement d'une économie circulaire et la diminution de notre impact environnemental par une meilleure gestion de nos ressources correspondent aux objectifs énoncés par l'Europe et poursuivis également par la région bruxelloise. Si une bonne connaissance des stocks et des flux matériels est indispensable à la mise en place d'un tel objectif, ces données sont actuellement lacunaires voire inexistantes.

Pour répondre à ces questionnements, la recherche propose de considérer le bâtiment comme unité métabolique et de l'analyser durant son processus de rénovation énergétique en termes de stocks et de flux en présence avant, après et durant l'opération. L'objet d'étude est défini selon sa représentativité sur le territoire bruxellois et les objectifs ambitieux de la région en matière de rénovation. L'analyse de l'objet d'étude tend à apporter plusieurs éléments de réponse et un éclairage nouveau à la situation. Premièrement, nous questionnons les tendances d'intervention de la rénovation durable. Ensuite, un bilan métabolique de l'opération est réalisé en termes de matières par l'analyse des stocks et des flux engendrés par l'opération. Nous l'appellerons aussi *bilan matière*. La quantification opérée permet de dégager des ratios pouvant s'avérer utiles pour tendre vers une meilleure gestion des flux matériels possiblement produits à l'échelle régionale. Il paraît également important de relever l'impact environnemental des différentes possibilités d'amélioration thermique de l'enveloppe des bâtiments se présentant aux concepteurs. De plus, un questionnement est mené sur le potentiel de valorisation que constituent les composantes de cette enveloppe. Un matériau réemployable peut-il l'être encore, une fois mis en

œuvre dans le bâtiment? L'approche proposée, relativement théorique, doit également s'accompagner d'une analyse du contexte actuel: quels sont les obstacles et opportunités à la valorisation optimale des matières contenues dans le bâti ?

DÉVELOPPEMENT DE LA RECHERCHE

Afin de répondre aux questionnements et hypothèses précédemment mentionnés, la présente recherche s'articule en quatre parties distinctes et complémentaires.

La **première partie** traite du cadre théorique dans lequel la recherche s'inscrit. Base de la réflexion globale de l'étude, les disciplines et courants de pensées tels que l'*écologie industrielle* (EI), le *Cradle to Cradle* (C2C) ou encore le *4Dimensional Design* (4D) y sont décrits et comparés. Il en ressort une idée principale, fil conducteur de l'ensemble de la recherche: tendre vers le bouclage des flux de matière par la considération du déchet comme ressource potentielle. Nous y aborderons également l'importance de certains outils comme la conception (ou éco-conception) indispensable dans un objectif de bouclage, ou des outils de diagnostic comme les analyses de flux de matières ou les analyses de cycle de vie.

La **deuxième partie** est développée dans le but de comprendre ce qu'est le "déchet", quels sont sa définition, son statut et son origine. Dans un second temps, il s'agit d'appréhender la place du déchet spécifiquement dans le secteur de la construction: comment est-il classé, quelles réglementations lui sont appliquées, quelles sont les sources de génération et les acteurs impliqués dans sa production et sa gestion. En outre, il est question de comprendre les différentes étapes et filières existantes suivies par les déchets de construction et démolition une fois produits sur chantier. Cette partie est donc un diagnostic de la situation existante, étape préalable indispensable à l'identification d'opportunités d'amélioration et d'optimisation.

La **troisième partie** est développée dans le but d'offrir un élément de réponse aux manques de données disponibles par rapport aux gisements et flux matériels relatifs au patrimoine existant rénové. Plus concrètement, nous y répondons aux deuxième et troisième questions formulées précédemment: *quels matériaux et produits mettons-nous en œuvre qui pourraient constituer à terme des déchets ou des ressources potentielles? quelles conséquences porteront nos processus de rénovation énergétique sur les flux et stocks de matière?* Pour ce faire, nous définissons un objet d'étude et une méthodologie pour l'identification et la quantification des stocks et flux de matières engendrés par les opérations de rénovations "exemplaires" résidentielles à Bruxelles (BATEX). Préalablement à la comptabilisation des flux, nous étudions les tendances d'intervention en matière de démolition et d'isolation de l'enveloppe. Ensuite, une analyse approfondie des flux et stocks de matières est réalisée dans le cadre d'un projet en particulier. Celle-ci nous permet de mettre en place une méthodologie par décomposition et regroupement par fraction applicable à d'autres

rénovations, que nous appellerons *bilans matière*. Le bâtiment considéré est ainsi étudié suivant trois phases distinctes: avant la rénovation (stock de matières existant), lors de l'opération de rénovation (flux IN/OUT en mouvement), après la rénovation (nouveau stock de matières). De la sorte, nous pouvons identifier l'impact de la rénovation sur le gisement matériel que représente le bâti. En outre, la comptabilisation nous permet de dégager des ratios au mètre carré pouvant s'avérer utiles dans l'anticipation et l'extrapolation des flux matériels pouvant être produits à l'échelle régionale, suivant le type de politique de rénovation encouragée.

L'identification et la quantification des stocks et des flux de matière représentent une étape préalable indispensable pour entamer un travail de réflexion et d'évaluation du potentiel de ressources que constituent nos bâtiments pouvant conduire à une meilleure valorisation. L'étape suivante est donc de pouvoir déterminer le potentiel de valorisation des stocks identifiés, potentiel de valorisation actuel mais également futur. La **quatrième partie** de ce travail vise à répondre aux questions suivantes: *à travers la rénovation énergétique, quels matériaux et produits mettons-nous en œuvre aujourd'hui qui pourraient constituer à terme des déchets ou des ressources potentielles ? pouvons-nous évaluer le potentiel de valorisation des éléments construits? quels impacts environnementaux auront les différentes possibilités d'amélioration thermique de l'enveloppe?* Trois étapes jalonnent donc cette dernière partie de recherche. Premièrement, nous proposons de développer une méthode d'évaluation du potentiel matière des parois construites, que nous appelons degré de *valorisabilité*. Cette évaluation qualitative est réalisée pour les parois[8] existantes et projetées de sorte qu'il est possible d'identifier l'impact de l'intervention en termes de potentiel de valorisation. Cette approche en deux temps nous permet également d'identifier le potentiel matière d'aujourd'hui, offert par le bâtiment existant transformé et amélioré, et le potentiel matière futur offert par le bâtiment après transformation. L'analyse de *valorisabilité* est ensuite complétée par la réalisation d'un bilan environnemental des parois (analyse quantitative) considérant trois indicateurs distincts (quantité de matière, énergie grise et gaz à effet de serre). Nous considérons ces deux évaluations (qualitative et quantitative) comme complémentaires ou plutôt, l'analyse du potentiel matière vient compléter l'approche du bilan environnemental[9]. Elles nous permettent d'identifier les types d'intervention les plus avantageux (en fonction des priorités fixées) dans le cas de l'amélioration des performances de l'enveloppe. La troisième étape de la partie 4 traite enfin des possibilités d'optimisation par la valorisation maximale des matières. Effectivement, l'évaluation de la *valorisabilité* propo-

8 - Les parois types de l'enveloppe ont été déterminées à partir de l'analyse des projets abordés en partie 3

9 - L'analyse des impacts environnementaux et les analyses de cycles de vie constituent à l'heure actuelle des évaluations de plus en plus courantes réalisées à l'échelle de matériaux/produits et parfois de parois construites. Elles sont réalisées dans le but d'informer des impacts globaux de ces matériaux de construction (sur l'ensemble du cycle de vie ou par phase). Nous proposons donc de compléter cette approche en évaluant le potentiel théorique de valorisation de ces mêmes matériaux.

sée concerne essentiellement un potentiel théorique: qu'en est-il de la valorisation effective? Au regard de ce qui se fait aujourd'hui en termes de valorisation, est-il possible d'améliorer la situation et tendre vers des degrés de valorisation plus élevés? Le dernier chapitre propose des éléments de réponse à ces questions.

Les figures ci-après représentent de manière schématique le plan de la recherche par question formulée puis par chapitre. L'idée générale est de rejoindre les préceptes théoriques développés en première partie et ayant influencé la recherche dans sa démarche globale.

Figure 0.1: Développement de la thèse sur base des questions énoncées

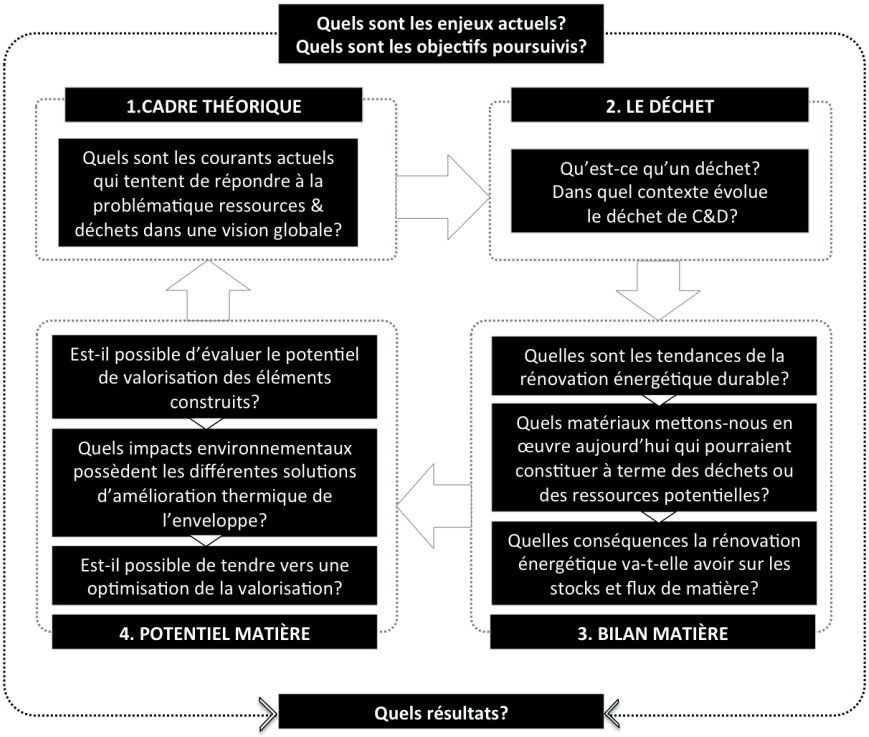


Figure 0.2: Développement de la thèse par parties et chapitres

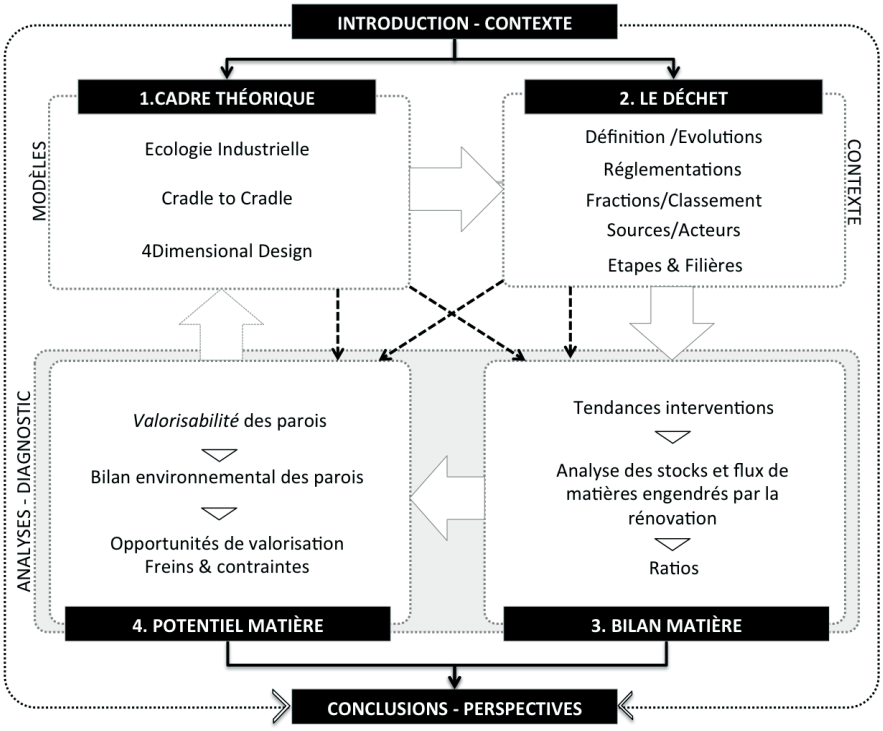
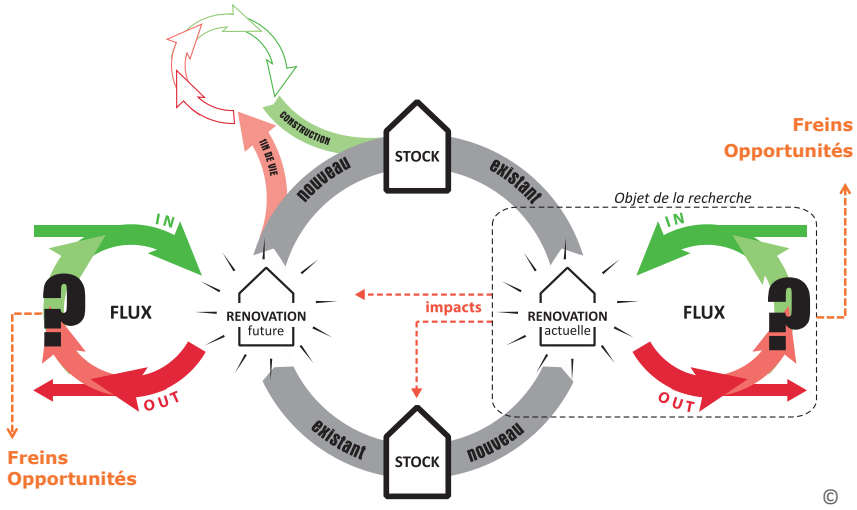


Figure 0.3: Schéma de principe de la thèse (approche cyclique)



PARTIE 1:

CADRE THÉORIQUE

1.0. INTRODUCTION

Dans cette première partie, nous allons traiter de différents courants théoriques et philosophiques, parfois mis en pratique, qui ont nourri et inspiré cette recherche dans son développement et dans la définition de ses objectifs. Nous nous sommes par ailleurs volontairement penchés sur des disciplines rencontrées en dehors du cadre de l'architecture. Cette démarche nous a amenés à pousser la réflexion sur une possible translation des principes énoncés vers le domaine architectural, et nous a incités à considérer le bâtiment et son secteur sous un autre angle de vue. Depuis le commencement de cette recherche (début 2011), les notions d'*écologie industrielle*, de *Cradle to Cradle*, d'*économie circulaire,* etc., ont progressivement pris leur essor pour prendre place aujourd'hui parmi les objectifs de politiques européennes, nationales et/ou régionales. À part au niveau de certains fabricants de matériaux de construction (secteur industriel) et au niveau de cellules de recherches (universités), l'application de ces préceptes à l'architecture et au secteur de la construction demeure néanmoins très peu voire pas du tout répandue. Or, au regard des enjeux environnementaux actuels, une transition de nos modèles de fonctionnement linéaire vers une économie plus « circulaire » devient inévitable. Cette transition doit également s'appliquer à l'architecture et à nos modes de conception actuels pour qu'ils puissent s'intégrer aux changements en cours.

Nous verrons dans la suite de cette partie que nous avons beaucoup à apprendre de disciplines provenant d'autres secteurs, même si ces dernières sont parfois difficilement applicables directement à l'architecture. Dans certains cas, nous remarquons également que des principes véhiculés par ce que nous appelons communément « architecture durable » ou « architecture soutenable » (selon les cas) rejoignent déjà des fondements énoncés (parfois sous une autre forme) par les disciplines qui seront évoquées dans cette partie. Il existe donc une convergence sur certains points qui peut être envisagée et étendue à d'autres échelles. Nous sommes convaincus que pour prétendre à une réelle « transition » de notre société dans sa globalité (économique, environnementale et sociale) vers plus de durabilité, nous devons à l'avenir davantage opter et encourager les approches interdisciplinaires[1]. Seule cette approche nous permettra d'apporter des réponses globales et adaptées à la complexité du système et contexte actuels[2].

1 - . L'interdisciplinarité implique un principe d'intégration conceptuelle, théorique et méthodologique des disciplines. Tout projet interdisciplinaire suppose la mise en présence d'au moins deux disciplines appelées à se compléter pour dégager une image plus globale de la réalité et appréhender un problème complexe ne pouvant pas être pris en charge par une seule discipline [DARBELLAY, 2008].

2 - Dans ce cadre, le 2ème Congrès Interdisciplinaire du Développement Durable (CIDD) a eu lieu du 20 au 22 mai 2015, l'objectif étant de rassembler les acteurs de disciplines diverses autour de le question de la "transition" vers un développement durable. Bien que la définition précise de ce terme n'ait pas été donnée, l'interdisciplinarité y a été décrite comme une des clés pour répondre aux problématiques socio-économiques et environnementales actuelles.

Dans cette première partie, nous avons fait le choix de nous concentrer sur trois disciplines différentes que sont l'*Écologie industrielle*, le *Cradle to Cradle* et le *4Dimensional Design*. La dernière discipline citée est propre au domaine de l'architecture et est développée par des architectes, mais elle rejoint également certains principes développés par ailleurs par les deux autres courants étudiés. Ceux-ci sont par contre développés tout d'abord pour le secteur industriel même si leur échelle d'action actuelle peut être plus large. Pour chacune de ces disciplines, nous avons spécifié les objectifs visés et principes appliqués, les échelles d'action, les outils utilisés ainsi que quelques exemples d'application. Ensuite, une analyse critique du courant a été réalisée de même qu'une réflexion sur la possible applicabilité au secteur de l'architecture et de la construction.

1.1. ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE

1.1.0. Introduction/Genèse

Le terme « écologie industrielle » est souvent contesté de par la nature et la définition de ces deux termes.

L'écologie est une science étudiant les milieux, les êtres vivants et les relations entre les organismes et leur environnement. Le qualificatif industriel fait référence à toute activité de l'homme générant des biens matériels destinés à être produits en grande quantité. Pour les écologues scientifiques (différents des écologues industriels) dissociant la « nature » de l'activité industrielle humaine néfaste pour cette dernière, ces deux mots semblent donc incompatibles.

L'écologie industrielle (E.I.) considère que l'activité industrielle fait partie intégrante de notre écosystème naturel et se décline d'ailleurs comme un cas particulier d'écosystème; elle doit donc se positionner afin de garantir des échanges avec ce dernier tout en conservant son équilibre. L'E.I. s'inspire directement du fonctionnement des écosystèmes naturels qui ne présente que peu de matières résiduelles grâce à un fonctionnement en boucle: le déchet de l'un constitue la nourriture de l'autre. Elle propose dans ce cadre une mobilisation de différentes disciplines permettant une approche globale, intégrée et systémique.

L'écologie industrielle s'inscrit donc dans une démarche de développement durable [3] et propose une mise en œuvre de ses principes par l'application, entre autres, de synergies ou symbioses industrielles concentrées sur l'analyse des flux de matières et d'énergie et le bouclage de ces derniers au sein d'un système délimité.
Le concept d'écologie industrielle bien qu'ayant été évoqué dans les années 50 par

3 - Source: Traité de Brundtland, 1987: Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.

certains écologues prend de l'importance avec l'apparition du développement durable défini par le rapport Brundtland. En 1983, paraît à Bruxelles un ouvrage intitulé « Écosystème Belgique: Essai d'écologie industrielle » publié par le CRISP et co-signé par plusieurs intellectuels s'étant penchés sur la question des lacunes du fonctionnement économique standard. En 1989, aux États-Unis, un article crucial « strategies for manufacturing » écrit par deux cadres de la division Recherche & Développement de General Motors (R.Frosch,N. Gallopoulos) est publié dans la revue Scientific American [ADOUE, 2007]. Mais ce n'est qu'en 1998 que le concept se développe plus largement en Europe (francophone) grâce à Suren Erkman et à son ouvrage « Vers une écologie industrielle ». Depuis, elle constitue un mouvement qui se propage et se fait reconnaitre, l'attrait résidant dans le fait de son approche relativement concrète de la situation [ERKMAN, 1998].

1.1.1. Objectifs et échelles d'action

La stratégie de l'écologie industrielle telle que définie par ERKMAN vise à appliquer une « restructuration écologique » ou une « écorestructuration » du système industriel le conduisant ainsi à maturation. Cette stratégie comporte quatre axes principaux [ERKMAN, 1998]:

- la **valorisation des déchets** comme ressources
- le **bouclage des cycles** de matières et la minimisation des émissions dissipatives
- la **dématérialisation** des produits et activités économiques
- la **décarbonisation** de l'énergie

L'écorestructuration du système industriel peut s'appliquer à diverses échelles [ERKMAN, 1998]:

- l'échelle **microscopique** correspondant au niveau moléculaire: amélioration des rendements des réactions, moins d'étapes pour atteindre la synthèse chimique... C'est alors l'amélioration d'un produit qui est visée.
- l'échelle **mésoscopique** relative aux unités de production usine... L'écorestructuration vise dans ce cas à repenser les processus de fabrication et les produits pour atteindre les objectifs cités ci-dessus.
- l'échelle **macroscopique** s'appliquant à l'amélioration de l'efficacité matérielle et énergétique de l'ensemble de l'économie (perspective globale).

1.1.2. Outils

Différents outils sont mis en place ou sont des outils et méthodes préexistants et utilisés en dehors de la seule sphère de l'écologie industrielle. Les outils principaux concernent l'analyse du cycle de vie, l'analyse des flux de matières et d'énergie et l'établissement de réseaux d'informations et d'échanges.
L'analyse du cycle de vie (ACV) utilisée à l'échelle des produits étudie l'ensemble des impacts environnementaux générés par le produit (ou le service) de l'extraction des

matières premières nécessaires à sa fabrication jusqu'à son traitement en fin de vie (recyclage, incinération, décharge). Elle permet donc la comparaison de produits proposant une même fonction suivant les impacts qu'ils auront sur notre environnement. La méthode apparue dans les années '70 est normalisée depuis 2006 en Europe et est reprise dans la norme ISO 14040.

Le métabolisme industriel[4] représente la base de l'écologie industrielle, il étudie l'ensemble des composants biophysiques du système industriel. Cette démarche vise la compréhension de la dynamique des flux et des stocks d'énergie, de matières et donc de déchets liés aux activités industrielles, économiques et humaines[5]. La méthode utilisée concerne l'analyse des flux de matières (AFM) circulant, entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et le temps. L'étude du métabolisme présente des avantages en termes de développement économique par la mise en valeur d'opportunités (détection de ressources valorisables et de nouvelles synergies), de l'attractivité et de la compétitivité d'une région ou d'un territoire. L'objectif général de l'étude du métabolisme est de servir d'outil de diagnostic par la compréhension du système, mais également de devenir un instrument d'aide à la décision et de permettre une évaluation et un suivi de la situation (ERKMAN, 2004). À l'échelle d'une ville, nous ne l'appellerons plus métabolisme industriel, mais métabolisme urbain et métabolisme territorial à l'échelle d'un territoire alors que le terme « industriel » se réfère à ce type d'activité.

L'analyse des flux de matières (AFM) ou *Mass Flow Analysis* (MFA) est une méthode relativement neuve, c'est pourquoi elle ne fait pas encore l'objet d'une normalisation à l'heure actuelle. Il existe d'ailleurs plusieurs méthodes appliquées dont une est développée par Eursostat à l'échelle nationale sous la forme d'un guide méthodologique intitulé « Economy-wide material flow accounts and derived indicators – A methodological guide ». Ce dernier peut être considéré comme une référence pour la réalisation d'analyses de flux de matières et d'énergie à l'échelle d'un pays voire même d'une région. La méthode propose en outre une optimisation économique et

4 - Le métabolisme, du grec "metabolê" signifiant "transformer", est un terme emprunté à la biologie et qui est défini comme l'ensemble des processus complexes et incessants de transformation de matières et d'énergie par la cellule ou l'organisme, au cours des phénomènes d'édification et de dégradation organiques (définition du Larousse). Plus spécifiquement, L'approche du métabolisme industriel trouve son fondement dans le principe de la conservation de la masse : la quantité de matière qui circule dans la biosphère reste constante. L'analyse du métabolisme industriel d'un système vise à refléter quantitativement et qualitativement la dimension physique des activités économiques. La méthodologie consiste donc à établir des bilans de masse, à quantifier les flux et les stocks de matière (et d'énergie) qui forment le substrat de toute activité, et à retracer leurs itinéraires. Dérivé de ce concept, le terme métabolisme territorial fait référence à l'organisation des différents flux induits par les habitants, les activités économiques et les propriétés naturelles d'un territoire : transports, aliments, biens, déchets, eaux, etc (informations disponibles sur www.angenius.net).

5 - Données disponibles sur les sites www.sofiae.com et www.icast.org

environnementale des flux. Cependant, la méthode MFA ne se concentre que sur les flux entrants et sortants et non sur les mouvements internes au système (la région, le pays). De plus, elle nécessite l'accès à des données statistiques nationales parfois incomplètes voire inexistantes. À l'heure actuelle, plusieurs études de métabolisme urbain ont déjà été menées sur base de cette méthode, notamment à Paris [BARLES, 2007] et à Vienne. Dans le cas de la région bruxelloise, une étude a également été conduite, mais elle s'est heurtée à la difficulté d'obtenir, pour certains flux et stocks, des informations statistiques fiables. Une série d'hypothèses ont donc été émises. Même si l'étude présente quelques « lacunes » , elle représente un bon point de départ pour une meilleure connaissance du fonctionnement « métabolique » de la région[6]. Un des outils également cité dans l'E.I. mais moins couramment appliqué concerne l'écoconception ou l'écodesign de produit. Cette notion étant à la base du développement du concept *Cradle to Cradle*, elle sera abordée dans les points suivants.

Enfin, afin d'appliquer l'E.I. à l'échelle d'un territoire (c'est-à-dire à l'activité industrielle dans un territoire donné), un outil a été développé et commercialisé en 2005 par Systèmes Durables: il s'agit de l'outil *Presteo* (Programme de REcherche de Synergies sur un TerritOire). Il vise, comme son nom l'indique, à établir des potentialités de synergies entre les activités industrielles ou agricoles d'un territoire par l'analyse des opportunités de substitution ou de mutualisation des flux de matières et d'énergie. La mutualisation tend à rationaliser l'approvisionnement, le traitement et le transport liés aux flux. La substitution permet de réduire les rejets de déchets ou d'énergie potentiellement utilisable par des entreprises voisines. L'importance de la coopération et de l'établissement de réseaux d'échange d'information entre les différents acteurs est une condition sine qua non pour la réussite de telles synergies. Dans notre système économique basé sur des principes concurrentiels, l'application des symbioses industrielles peut constituer un obstacle, les entreprises ont peine à communiquer certaines informations (secret autour des procédés de fabrication et du savoir-faire) et pour que l'application du système d'échanges s'opère de manière pérenne il est nécessaire de mobiliser la capacité de coopération et d'engagement des différentes entreprises. Le schéma ci-dessous illustre les principes d'application des symbioses industrielles.

6 - Les résultats de cette étude ne sont pas encore disponibles. Nous tenons ces informations d'une présentation réalisée par ATHANASSIADIS Aristide lors de l'évènement "Be circular - Be Brussels" organisé par Bruxelles Environnement le 1er décembre 2014.

Figure 1.1: Principe de fonctionnement des symbioses industrielles

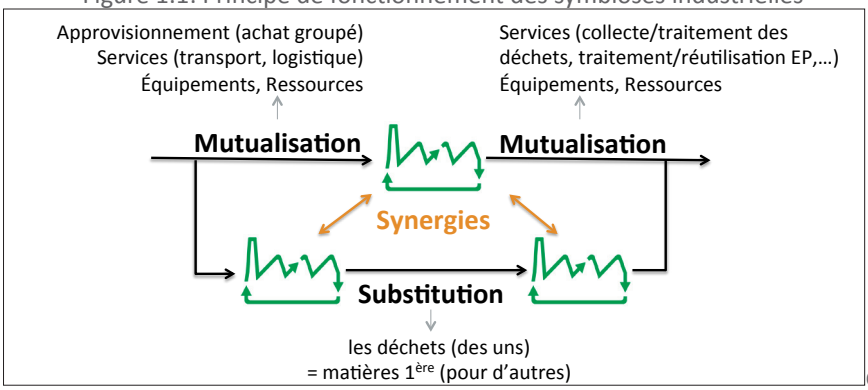


Schéma inspiré de l'écologie industrielle (ERKMAN S. et MASSARD G)

1.1.3. Développement des principes et applicabilité à l'architecture

L'Écologie Industrielle (E.I.) propose la mise en place de 4 principes [ERKMAN, 1998]: l'étanchéification, la décarbonisation, le bouclage et la dématérialisation. Ces principes ne sont pas cloisonnés, mais interdépendants. À travers l'application de ces préceptes, l'E.I. entend modifier les modes de production et de consommation et tendre vers une « écorestructuration »[7]. Pour ce faire, plusieurs outils tels que l'analyse du cycle de vie (ACV ou LCA en anglais), l'écoconception (Design for Environment) et l'analyse des flux de matières IN/OUT (AFM ou MFA en anglais) sont utilisés. Comment ces principes peuvent-ils être intégrés à l'architecture ? En quoi apportent-ils une réponse à la soutenabilité ? Certaines pratiques et tendances architecturales actuelles s'inscrivent déjà dans les principes énoncés ci-dessous:

1. la notion d'**étanchéifier** ramène à minimiser les pertes et les fuites dissipatives occasionnées durant le « cycle de vie » des produits. En architecture, cette notion peut s'appliquer aussi bien au niveau du choix des matériaux, de leur mise en œuvre, de l'organisation sur chantier qu'au niveau du bâtiment (fuites et pertes dues à une mauvaise conception/réalisation de l'étanchéité à l'air de l'édifice, pertes dissipatives de produits lors du traitement de matériaux, pertes importantes d'eau et dissipations de polluants, conception en fonction de dimensions existantes de matériaux évite les pertes dues aux chutes – calepinage…).

2. **décarboniser** signifie diminuer les rejets de CO_2. Cette action peut s'appliquer aux différentes échelles du bâti : du micro (le matériau, l'élément constitutif) au macro (échelle urbaine, territoriale). Un matériau sera choisi de préférence selon son faible impact pour l'environnement en matière d'émissions (LCA, énergie grise, type de ressources utilisées, proximité du site de production/du site d'ex-

7 - Terme utilisé par TRANCHANT C., et al., [TRANCHANT, 2004].

traction…), un bâtiment sera conçu pour limiter au maximum sa consommation énergétique voire compenser cette dernière par le recours à des systèmes de production d'énergie alternative décentralisée (nous parlons le plus souvent de bâtiment passif, zéro carbone/zéro énergie voire bâtiment à énergie positive), l'aménagement du territoire et l'urbanisme seront développés afin d'encourager les échanges, la mise en commun, une mobilité douce…

3. l'idée du **bouclage** des flux s'inspire directement du fonctionnement des écosystèmes naturels : le déchet d'un organisme nourrit un second organisme et ainsi de suite jusqu'à boucler la boucle. Dans cette optique, l'E.I. travaille sur le développement de synergies éco-industrielles, réseau complexe d'échanges de flux de matières et d'énergie entre différentes industries d'un territoire délimité. Le modèle cyclique dans lequel le « déchet-nourriture » est également la base du concept *Cradle to Cradle*[8] (C2C), littéralement du berceau au berceau. La démarche s'oppose à l'actuelle approche linéaire du berceau à la tombe (« Cradle to Grave »). Au niveau de l'application du principe de bouclage à l'architecture, bien qu'actuellement en partie employé dans le secteur par le recyclage des déchets, de nombreux progrès restent encore à faire. L'approche peut s'appliquer à différents niveaux : du matériau aux composantes de la construction, jusqu'au bâtiment en tant que tel. Le recyclage actuel est souvent plus de l'ordre du *down-cycling* qui ne constitue pas une solution suffisante à long terme. En effet, la qualité du matériau après traitement est souvent inférieure à sa qualité initiale, il ne peut donc en général faire l'objet que d'un seul cycle de recyclage. Ensuite, le traitement des déchets est également un processus énergivore et producteur de pollutions diverses. Ainsi, nous pourrions imaginer une récupération des matériaux par les fabricants engageant de la sorte leur responsabilité quant au cycle de vie complet de leurs produits. Les bâtiments pourraient être conçus dans l'optique d'être désassemblés (facilitant le remplacement/la réparation des éléments obsolètes ou la récupération des matériaux). Flexibilité et adaptabilité des fonctions seraient des éléments déterminants dans la composition du projet…

4. la **dématérialisation** consiste en l'utilisation d'une plus petite quantité de matières et d'énergie pour un même service/résultat final, ou concerne la substitution d'un matériau par un autre présentant un impact environnemental moindre. On parle dans le premier cas d'« économie de fonctionnalité » et dans le second de « substitution ». La dématérialisation peut se traduire également par l'intensification de l'usage. Ainsi en architecture, la rénovation, la transformation, la réhabilitation devraient prévaloir sur la démolition/reconstruction : économie importante de matière et de déchets générés. La réflexion au stade de

8 - Concept développé par Mc Donough W., architecte américain, et Braungart M., chimiste allemand, à travers leur ouvrage "Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things". Ce concept est traité ci-après au point 1.2.

la conception sur la flexibilité et l'adaptabilité du projet dans le temps et l'espace permettrait de prévenir la production de déchets et de matériaux. Le choix de matériaux « plus respectueux de l'environnement » est un autre critère décisif, de même que la conception selon la modularité des éléments et matériaux utilisés (moins de chutes). À l'échelle territoriale, cette économie de fonctionnalité et de matière est réalisable par le développement de réseaux d'échange, de mutualisation des biens, de proximité des services (polycentralité)…

1.1.4. Exemples d'application

ERKMAN reprend dans la seconde version de son ouvrage « Vers une écologie industrielle » quelques exemples concrets d'application des principes de l'écologie industrielle [ERKMAN, 2004]:

- les **parcs éco-industriels** développés à l'échelle locale. L'exemple le plus souvent repris est la symbiose industrielle de Kalundborg (Danemark) se caractérisant par un réseau spontanément formé entre cinq entreprises voisines qui s'échangent des matières et de l'énergie. C'est-à-dire que les déchets de l'une servent par exemple de matière première ou d'énergie à d'autres. Ces échanges ont été créés petit à petit dès la fin des années 60', mais n'ont été identifiés comme « symbiose industrielle » qu'à partir de 1989. Depuis, de nombreux exemples sont venus renforcer la symbiose de Kalundborg: en France (département de l'Aube), en Autriche (la Styrie), en Suisse (canton de Genève).
- les **synergies ou symbioses industrielles** (intersectorielles/échelle territoriale) rejoignent quelque peu les exemples ci-dessus.
- l'**économie de fonctionnalité** propose la mise en place d'une économie de services plutôt qu'une économie de biens. Cependant, ce concept reste difficile à mettre en œuvre. À l'échelle d'un bâtiment, nous pourrions imaginer de vendre un « confort thermique » plutôt que de vendre un objet: la chaudière.
- le **métabolisme industriel**, métabolisme des activités économiques ou métabolisme territorial est l'analyse des flux et des stocks de matières et d'énergie d'un territoire délimité. Pour citer un exemple, le canton de Genève dans le cadre de son agenda 21 a réalisé une étude de métabolisme territorial. Au niveau de l'industrie de la construction, cette étude a permis de détecter les limites du canton dans son approvisionnement en matières minérales, mais également concernant ses limites de stockage en matière de déchets d'inertes. La région a donc développé un programme d'encouragement de la valorisation des déchets par le recyclage et a ainsi permis d'économiser les ressources locales.

1.1.5. Analyse critique

L'écologie industrielle est parfois dépeinte comme une nouvelle forme de capitalisme ou une transformation de ce dernier. Dans certains cas, cette critique se justifie, car les dérives ne sont pas absentes du système. En effet, les acteurs économiques et

politiques peuvent trouver dans l'écologie industrielle une opportunité de « verdurisation » de leur image. Cependant, Suren Erkman rappelle dans la seconde édition de son ouvrage qu'un tel engagement nécessite des entreprises qu'elles rendent des comptes précis (bilan des masses et d'énergie) et communiquent des informations jugées confidentielles (procédés utilisés ...). Dans cette démarche, les entreprises ne peuvent se limiter à « recycler » leurs déchets, une réflexion sur la dématérialisation, l'étanchéification et la décarbonisation est également indispensable pour développer une stratégie globale prônée par l'E.I. [ERKMAN, 2004].

Le terme d'écologie industrielle est également contesté, car il ramène à une compréhension limitée de l'adjectif « industriel ». Le terme d'« économie circulaire » utilisé en Chine et repris de l'allemand Kreislaufwirtschaft [REVUE DURABLE, 2007, p.20] semble éviter le problème d'interprétation de l'objectif global de l'écologie industrielle.

Autre limite de l'E.I. ou manque à combler est sans doute l'approche complémentaire que pourraient apporter les sciences sociales et humaines. En ce qui concerne les implications philosophiques, éthiques et culturelles de l'écologie industrielle, ERKMAN parle d'un terrain à peine défriché. Il préconise une consolidation des fondements de l'E.I. entre autres par une définition plus rigoureuse et scientifique des termes tels que « consommation » et « valorisation » des ressources.

1.1.6. Regard posé sur l'architecture et le secteur de la construction

En considérant le qualificatif réduit « industriel », l'architecture ne semble pas y être intégrée, mais bien la fabrication des matériaux de construction issus de l'industrie. Or au sens large, « industriel » se rapporte à toutes activités de l'homme générant des biens matériels destinés à être produits en grande quantité. Pouvons-nous dès lors incorporer le qualificatif « industriel » à ce que produit l'architecture, c'est-à-dire des bâtiments? Plusieurs éléments nous interpellent quant à cette définition. Premièrement le qualificatif « en grande quantité ». Les matériaux sont effectivement produits en grande quantité... et il en va de même pour les constructions qui se multiplient considérablement depuis de nombreuses années sous la pression démographique. Dès lors, la « production de masse » (lotissements, projets de promotions immobilières, maisons « clé-sur-porte ») de plus en plus généralisée (surtout dans nos campagnes) pourrait nous amener à considérer aujourd'hui l'architecture comme une sorte de production « industrielle » par la somme des produits manufacturés qu'elle représente. Le second élément qui nous interpelle concerne l'uniformisation, la standardisation des produits de l'industrie. Les bâtiments sont-ils aujourd'hui à ce point uniformisés et standardisés? Il est certain que la pratique de plus en plus courante d'acheter un bien sur catalogue et sur plan à des sociétés qui produisent des logements « à la chaîne » peut s'apparenter à un type d'uniformisation. Le procédé de production « à la chaîne » inspiré du système industriel permet certes de rentabi-

liser la production et d'optimiser les coûts de construction, mais il est extrêmement réducteur. Le bâtiment est bien plus qu'un produit de consommation, il représente un lieu de vie. Selon notre point de vue, sans pour autant entrer dans des définitions trop longues, il nous apparait réducteur et inopportun de comparer le bâtiment à une production industrielle, bien qu'il existe de plus en plus de production de masse uniformisée aujourd'hui. Si ce type de pratique venait à être généralisé, se rapprochant ainsi d'une forme plus « industrialisée » de l'architecture, il aurait certainement pour effet une mutation de l'architecture et du rôle de l'architecte.

Alors que le terme « industriel » est rarement apposé à côté du mot « architecture », le terme « écologique » est par contre souvent repris. Bien que plusieurs recherches aient été menées sur le sujet, il n'existe pas réellement de consensus sur la signification précise de « l'architecture écologique » appelée aussi parfois « architecture durable. Elle pourrait être définie comme une architecture intégrant les questions environnementales dans le mode de conception et de réalisation par différents moyens: choix des matériaux (sains, naturels), choix du cadre et de l'implantation, choix de techniques alternatives de production d'énergie, choix en matière d'économie d'énergie... Chaque concepteur pourrait avoir sa propre définition de cette architecture.

Nous ne nous étendrons pas plus sur les définitions de l'architecture durable ou écologique ou même encore « industrielle », tel n'est pas l'objectif de cette recherche. Retenons simplement que les principes développés par l'écologie industrielle jusqu'alors absents de la scène architecturale peuvent être à la base d'une réflexion plus globale du projet d'architecture, certains étant par ailleurs déjà appliqués sous certaines formes. Une réflexion sur la transposition de ces préceptes à l'architecture a été précédemment abordée au point 1.1.3. Notons d'ailleurs que selon Suren Erkman, le secteur de la construction présente un réel potentiel d'action en matière d'écologie industrielle. D'après lui, « *les matériaux de construction constituent les principaux flux de matière solide dans la société industrielle moderne, et également les principaux stocks de ressources, immobilisées dans les bâtiments, les routes, les grandes infrastructures. Dans cette perspective, il ne s'agit pas seulement de construire des bâtiments "écologiques", mais également, et surtout, de concevoir et mettre en œuvre une politique globale de gestion intégrée de l'ensemble des matériaux de construction, de leur extraction initiale à leur fin de vie ultime.* » [ERKMAN, 2004, p.182-183] . De même, par rapport au concept de bouclage, il cite que « *l'idée de valoriser des déchets comme des ressources secondaires est très ancienne, au moins autant que le système industriel lui-même. Mais l'écologie industrielle ne propose pas qu'une nouvelle alternative à la résolution du problème des déchets... L'E.I. propose une perspective allant bien au-delà de la seule valorisation de déchets, l'objectif étant d'améliorer l'ensemble du métabolisme des activités humaines, et ceci dans un cadre conceptuel bien précis, celui de l'écologie scientifique. C'est donc une vision très large, qui s'intéresse à l'évolution du système industriel dans sa globalité* »

[ERKMAN, 2004, p.193].

1.2. CRADLE TO CRADLE

1.2.0. Introduction/Genèse

Le concept apparait dans les années 90' suite à la rencontre d'un architecte américain W.Mc Donough et d'un chimiste allemand, M. Braungart. Le terme se développe par opposition à l'expression « *cradle to grave* », symbole de notre approche linéaire actuelle du berceau au tombeau. L'aspect innovant de l'approche est de proposer une démarche soucieuse de l'impact des activités humaines (industrielles) sur l'environnement de manière positive et non culpabilisante, appelée aussi *éco-bénéficience*. Le *Cradle to Cradle* n'endigue pas les entreprises vers une décroissance de la production, elle les encourage à produire tout autant voire plus, mais différemment, en agissant dès la conception et en y intégrant des objectifs de recyclabilité et de désassemblage aisé. Le concept est généralement utilisé dans le secteur industriel.
La base de notre infrastructure industrielle repose sur la linéarité, l'emprunt d'une voie à sens unique: extraction des ressources, transformation, distribution de biens, abandon. Les objets sont conçus selon une obsolescence programmée: il est plus facile et moins coûteux de jeter l'ancien modèle et de racheter un neuf que de réparer l'objet usagé. La substitution de substances toxiques interdites par d'autres tout aussi mauvaises voir plus nocives, mais non soumises à une réglementation stricte pose problème.

1.2.1. Objectifs et échelles d'action

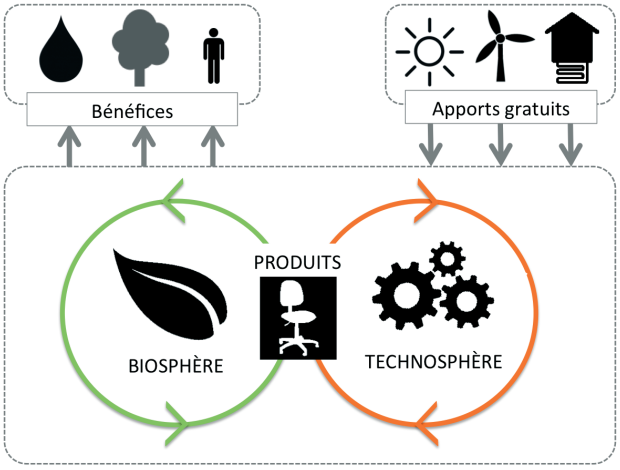
Les quatre principes du *Cradle to Cradle* sont les suivants:
1. WASTE = FOOD: le déchet est un nutriment
2. ELIMINATE THE CONCEPT OF WASTE: éliminer la notion de déchet
3. USE CURRENT SOLAR INCOME: utiliser les sources d'énergies renouvelables, dont les apports solaires gratuits
4. CELEBRATE DIVERSIRTY AND ANTICIPATE EVOLUTION: célébrer et encourager la diversité

« *L'approche Cradle to Cradle envisage le déchet comme de la nourriture, comme un nutriment pour l'avenir* » [BRAUNGART, 2011].« *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* » (Lavoisier). Dans la nature, les déchets des uns servent de nourriture aux autres selon un principe d'échange et d'interactions.

S'inspirant directement du fonctionnement des écosystèmes naturels, le concept du *Cradle to Cradle* (C2C) est de concevoir des produits qui constituent des nutriments en fin de vie. Ces produits sont soit biodégradables (« nutriments biologiques ») retournant ainsi à la terre selon le cycle naturel appelé aussi *biosphère*, soit indéfiniment recyclables (« nutriments techniques ») réintroduits dans le processus de

fabrication comme matière première appelé aussi *technosphère*. Le recyclage considéré propose l'élaboration de produits recyclés présentant une valeur équivalente ou supérieure à la valeur initiale, appelé aussi *upcycling* (à l'opposé du *downcycling* caractérisant en grande majorité notre système de recyclage actuel). L'utilisation d'énergies renouvelables (énergie gratuite provenant du soleil) et l'encouragement et le support à la biodiversité sont deux autres principes intégrés dans le concept. Enfin, un des critères essentiels se caractérise par l'importance de l'innocuité pour la santé et l'environnement des substances utilisées dans le processus de fabrication.

Figure 1.2: Principe de fonctionnement de l'approche *Cradle to Cradle*



©

Schéma inspiré de l'approche du C2C

Un organisme de certification s'est développé sur le concept du *Cradle to Cradle*. L'écolabel attribué reprend différents critères d'évaluation relatifs à la non-toxicité du produit, aux possibilités de recyclage, à la préservation des ressources en eau, aux recours aux énergies renouvelables et à certains aspects sociaux et éthiques. Il existe plusieurs niveaux d'évaluation en fonction des résultats obtenus, adaptables et flexibles dans le temps: Basic, Silver, Gold et Platinium. Trois organismes de certification sont reconnus: en Hollande, aux États-Unis et en Allemagne. Les contrôles sont réalisés par MBDC (McDonough, Braungart Design Chemistry), mais aucun contrôle extérieur n'est exécuté. Sont éligibles pour une certification C2C, tout produit ou matériau provenant de l'industrie (vendu aux consommateurs ou à d'autres marchés), le label ne pouvant être attribué à des personnes, des entreprises, des bâtiments ou des systèmes.

1.2.2. Outils

L'outil principal prôné par BRAUNGART et MC DONOUGH est l'**écoconception** ou l'**écodesign**. Il s'agit de concevoir un produit en intégrant une réflexion globale sur sa fin de vie en bout de cycle, sur un processus de fabrication respectueux de l'environnement (énergie, émissions) et sur l'utilisation de substances garantissant l'innocuité pour la santé et la biosphère.

Les principes de conception à respecter concernent [OVAM, 2011_B] [BRAUNGART, 2011]:

- La suppression de la notion de déchet. Les nutriments biologiques et technologiques sont réutilisés indéfiniment dans les processus de production naturelle ou humaine selon le modèle du bouclage des cycles: les nutriments biologiques retournent à la biosphère alors que les nutriments techniques retournent à la technosphère.
- L'utilisation de l'apport solaire et des sources d'énergies renouvelables pour l'approvisionnement en énergie
- Le support à la diversité (biologique, culturelle et conceptuelle)
- La gestion de l'eau est également un des critères développés (rejets non toxiques, assainissement,...)

1.2.3. Développement des principes

Eco-efficiency ou éco-efficience

L'efficience est la capacité à atteindre les objectifs et les buts envisagés tout en minimisant les moyens engagés et le temps, réussissant ainsi à leur optimisation[9]. Il s'agit d'un anglicisme issu de *efficiency* et ne doit pas se confondre avec l'efficacité qui ne mesure que l'atteinte d'un objectif sans précision des moyens utilisés. L'efficience est la qualité d'un rendement permettant de réaliser un objectif avec l'optimisation des moyens engagés[10].

L'éco-efficience représente « faire plus avec moins », elle minimise l'impact « dévastateur » de l'activité humaine sur nos écosystèmes. Le principe est d'encourager les industries à être plus « efficaces » en matière d'utilisation de ressources, de production de déchets et d'émissions polluantes. La démarche rejoint le principe des 4R: réduire, réutiliser, recycler et réguler. Le principe de réduire la quantité de matières premières, les émissions, la quantité de matières finales du produit rejoint également le précepte de dématérialisation prônée par l'écologie industrielle développée au chapitre précédent. Les instigateurs du Cradle to Cradle critiquent cette démarche du fait qu'elle n'offre aucune solution convaincante à long terme: elle allège la culpa-

9 - Source: http://lesdefinitions.fr

10 - Source: Encyclopédie libre Wikipédia (www.wikipédia.org)

bilité des producteurs et des consommateurs sans pour autant solutionner les problèmes de consommation croissante, de diminution des ressources et de fragilisation voire de destruction de notre écosystème. « *L'éco-efficacité fonctionne à l'intérieur du système qui a initialement engendré le problème (...) elle ne propose guère plus qu'une illusion de changement. Mais le fait de se reposer sur l'éco-efficacité pour sauver l'environnement produira l'effet inverse; cela permettra à l'industrie de tout éliminer de façon discrète, consciencieuse, et totale* » [BRAUNGART, 2011].

Ainsi, la réutilisation est dépeinte par les auteurs du C2C comme un « transfert » de finalité du flux déchet alors que le recyclage actuel, est défini comme « *downcycling* »: il pose le problème d'une diminution de qualité du produit initial et d'une consommation d'énergie et de ressources additionnelles pour son traitement. Le problème réside dans le fait que les produits ne sont pas conçus au départ pour être recyclés. Dans ce contexte, les procédés de recyclage doivent la plupart du temps s'accompagner de traitements supplémentaires pour garantir la qualité du produit secondaire (innocuité, caractéristiques physiques...). De plus, la perte de qualité progressive du produit occasionnée par la répétition de cycles de recyclage conduit irrémédiablement à l'incinération ou la mise en décharge: ce n'est pas parce qu'un produit est défini comme « recyclable » qu'il est recyclé et, qui plus est, les produits sont rarement conçus pour être recyclés indéfiniment! Le fait qu'un matériau soit recyclé ne le rend pas écologiquement bénin, spécialement s'il n'a pas été fabriqué pour l'être (BRAUNGART, 2001, p.85). Un bon exemple de *downcycling* dans le secteur de la construction concerne les déchets d'inertes concassés (nécessitant transport et utilisation d'énergie) avant d'être réutilisés comme remblais ou sous-couches de voiries (= perte de valeur). Selon l'approche du *Cradle to Cradle*, que nous soutenons entièrement par ailleurs, notre approche de recyclage actuelle ne résout donc pas le fonctionnement problématique « linéaire » (*cradle to grave*) de notre société.

Ensuite, en matière de substances toxiques, réduire ne suffit pas, car même une quantité infime de ces dernières peut provoquer d'importants dégâts sur la santé et l'environnement. Dans les bâtiments rendus de plus en plus performants par l'isolation et l'étanchéification, les problèmes de pollution d'air intérieur sont croissants voire omniprésents: un système de ventilation adéquat doit être étudié et envisagé pour répondre à ce problème qui, à sont tour, nécessite un apport supplémentaire de matière et de complexité technique et occasionne des consommations énergétiques additionnelles.

Eco-effectiveness ou éco-effectivité / éco-bénéficience

En réponse aux limites et aux effets pervers de l'approche éco-efficace, BRAUNGART et McDONOUGH proposent l'*éco-bénéficience* ou *eco-effectivité*[11]. Le terme utilisé

11 - Selon le dictionnaire français Larousse, l'*effectivité* se dit d'une méthode qui, appliquée à la résolution d'un problème, en donne la solution au bout d'un nombre fini d'étapes.

par les auteurs du C2C est utilisé pour rompre avec le discours culpabilisant et la réduction de consommation prônés par de nombreux courants environnementalistes. L'*éco-bénéficience* propose en effet une consommation « sans limitation » à condition qu'un équilibre soit établi entre approvisionnement en ressources et retour des produits vers le métabolisme de la biosphère ou de la technosphère. Le discours, on le comprend, séduit de nombreux producteurs s'inscrivant dans la logique consumériste caractéristique de nos systèmes économiques occidentaux.

1.2.4. Exemples d'applications

La philosophie du *Cradle du Cradle* (C2C) s'est largement répandue au niveau international à travers le développement d'un système de certification: la certification C2C des produits permet en effet une reconnaissance de l'application des principes et une vitrine sur l'image « verte » des entreprises (plus communément appelé *greenwashing*). De grands groupes internationaux comme Nike, Saint-Gobain, Steelcase, etc. proposent aujourd'hui des produits certifiés C2C. Cinq degrés de certification peuvent être obtenus en fonction de la performance C2C du produit: basic, bronze, silver, gold et platinum (encore jamais atteint à ce jour). En 2011, 97 différentes compagnies et 404 produits étaient certifiés au niveau mondial [VAN DEN ABEELE, 2011]. Le niveau de certification le plus courant est le « Silver » avec 87% des certifications en 2010, alors que les niveaux « Basic » et « Gold » sont à respectivement 28 et 30%[12]. Les catégories de produits visés par la certification C2C sont variées: bouteilles, matériaux de construction, isolants, tuiles, éclairages, papiers, emballages, mobiliers, textiles, produits d'entretien, revêtements (façades, sol,...), accessoires électriques, colorants,savons...

Malheureusement, le label C2C actuellement apposé sur certains produits ne garantit pas que ces derniers soient non toxiques ni 100% recyclables. Il s'agit pourtant de principes fondateurs du *Cradle to Cradle*. Seuls les niveaux Gold et Platinum (jamais encore obtenus à l'heure actuelle) proposent des exigences réellement à la hauteur de la philosophie. Alors que les premiers niveaux permettent une plus grande accessibilité de la certification aux producteurs et une évolution progressive vers les niveaux supérieurs, ils peuvent également véhiculer une information « trompeuse » aux consommateurs en termes de toxicité, recyclabilité et recours aux énergies renouve-lables... [VAN DEN ABEELE, 2011].

Concernant la place des énergies renouvelables, elle est reléguée aux deux derniers niveaux du label (gold et platinum). En outre, à partir d'un certain quota d'énergies renouvelables atteint, aucune mesure de limitation de la consommation énergétique n'est exigée. Ensuite, seule la consommation d'énergie liée à la phase de production est considérée: qu'en est-il des autres étapes du cycle de vie des produits (extraction,

12 - Données pour l'année 2010 communiquées sur le site www.mbdc.com (McDonough Braungart Design Chemistry).

utilisation, transport, recyclage)? L'ACV, pratique éco-efficace dénigrée par le C2C, semble dans ce cas, la démarche la plus pertinente [VAN DEN ABEELE, 2011].

De plus, la certicifcation des produits ne garantit pas qu'une vérification soit réalisée au niveau de la mise en œuvre, de l'utilisation ou du retour en fin de vie des produits certifiés. Aucune exigence ne s'applique d'ailleurs aux producteurs quant au fait de relayer l'information aux utilisateurs au-delà de la phase de la production afin de garantir la récupération des produits à la fin de leur cycle. Or, une mauvaise utilisation ou mise en œuvre peut conduire à rendre un produit irrécupérable en fin de vie (combinaison de matériaux, substances...) [OVAM, 2011_B].

Enfin, la principale critique de la mise en oeuvre du *Cradle to Cradle* à travers son système de certification concerne le manque de transparence et d'indépendance du programme de certification. Aucune explication sur la méthode d'évaluation appliquée et aucune vérification par un organisme tiers ne sont appliquées. Les principales entreprises bénéficiant d'un label C2C agissent à l'échelle internationale. La question peut alors être posée quant au caractère accessible du label (coûts importants et dépendant du nombre de composants/substances, accès aux données...) ainsi qu'au caractère local des ressources et des sites de production ici non considéré. Il s'agit également de produits manufacturés et industrialisés. Dans le cas des matériaux de construction, un enduit à l'argile ou une isolation en paille par exemple ne rentre pas réellement dans le cadre de la certification alors que ces produits rejoignent tout à fait la philosophie développée par BRAUNGART et Mc DONOUGH [VAN DEN ABEELE, 2011].

Bien sûr, les principes du *Cradle to Cradle* peuvent être appliqués sans qu'il y ait de certification à la clé. C'est actuellement le cas des constructions. Plusieurs exemples de bâtiments s'inscrivant dans la philosophie C2C (et reconnus en tant que tels) ont par ailleurs été analysés par l'OVAM [OVAM, 2011_B] dont le Dutch Institute for Ecology à Wageningen (NL), le bureau « mère » de Bionorica à Neumarkt (DE) ou encore le Park 2020 à Haarlemmermeer (NL).

1.2.5. Analyse critique

Les préceptes énoncés par le *Cradle to Cradle* sont séduisants et louables mais apparaissent dans de nombreux cas difficilement applicables dans le contexte actuel. Prenons l'exemple du recours exclusif aux énergies renouvelables, est-il réellement et techniquement envisageable? Les surfaces libres au sol seraient insuffisantes pour répondre à notre demande actuelle en énergie. Concernant le bouclage des cycles de matière, notre présent système de recyclage est bien peu adapté aux évolutions proposées dans le C2C, les changements ne pourront se faire qu'à moyen ou long terme. Ensuite, la différence entre *downcycling* et *upcycling* n'est pas clairement définie. Notons également que si nous devions considérer l'ensemble des matériaux mis en

œuvre dans un bâtiment comme nutriments techniques ou biologiques, ceux-ci devraient être facilement récupérables. Cela nécessite donc une réflexion dès le stade de conception pour rendre les éléments séparables et démontables en vue de leur réutilisation dans les différents cycles (ce sujet est abordé au chapitre suivant 1.3). De plus, les nutriments techniques et biologiques ne sont pas toujours dissociables, or le *Cradle to Cradle* ne considère ces deux cycles que de manière dissociée alors qu'un système de valorisation ou cycle « hybride » constituerait une réponse à bon nombre de matériaux actuellement.

Concernant le retour au cycle naturel des nutriments biologiques, une question apparait concernant la capacité d'absorption de la terre: la biodégradation nécessite d'importantes surfaces, dégage des odeurs et certaines substances pouvant être qualifiées de toxiques selon la nature des éléments compostés et qui ne conviendront pas forcément à toutes les natures de sols. Enfin, le *Cradle to Cradle* est-il réellement compatible avec le modèle de croissance de la société de consommation actuelle? [VAN DEN ABEELE, 2011].

L'aspect positif de la philosophie et qui constitue une des clés de son succès croissant consiste en cet élan innovateur et à l'impulsion positive (non culpabilisante) qu'elle encourage. Elle s'inscrit totalement dans notre modèle de croissance économique puisqu'elle ne prône pas une diminution de la production, mais l'avantage de produire plus et mieux.

1.2.6. Regard posé sur l'architecture et la construction

Les principes développés par le *Cradle to Cradle* sont aujourd'hui appliqués à l'échelle d'un ou plusieurs bâtiments (Art & Build) voire à l'échelle de villes et de régions (Chine, Pays-Bas), mais il n'existe actuellement aucune certification pour ces derniers. Un manifeste[13] et un référencement ont pourtant été développés afin d'encourager les concepteurs et maîtres d'ouvrage à appliquer les principes C2C dans leur construction. À la différence d'autres systèmes de certification de bâtiment (Leed, Breeam), le référencement dans le registre C2C concerne les éléments du bâtiment C2C-Inspired et non le bâtiment lui-même. Ce référencement peut être interprété comme une sorte de récompense ou de « prix » attribué (mais payant!) à un projet pour ses choix de matériaux respectueux de la philosophie C2C. Le but est d'encourager le secteur au changement[14]. L'emploi de matériaux certifiés est certainement un plus dans l'obtention de cette distinction.

Nous avons constaté qu'un certain nombre de limites entravait une application complète et fidèle de la philosophie C2C. Cependant, nous posons l'hypothèse qu'une évolution en ce sens est plausible (peut-être pas en matière d'autonomie complète

13 - Disponible sur www.c2carchitecture.org

14 - Informations disponibles sur www.epeaparis.fr

par recours aux énergies renouvelables) particulièrement en matière de conception, outil fondamental de la démarche. Nous retiendrons donc les éléments clés tels que l'innocuité pour la santé et l'environnement, la suppression du déchet constituant une ressource par la récupération programmée des éléments (nutriments techniques et biologiques), la gestion de l'eau (les aspects éthiques et sociaux étant peu développés).

Toutefois, certaines critiques peuvent être émises lorsqu'il s'agit d'appliquer le concept C2C à l'architecture. En effet, il n'offre que peu de solutions concrètes concernant le patrimoine bâti existant (infrastructure et bâtiments) alors qu'il s'agit d'un enjeu majeur en termes de durabilité. Ensuite, le C2C initialement développé pour le secteur industriel (produits manufacturés) mériterait certaines adaptations pour être appliqué à l'architecture dont l'échelle d'action est différente: il n'existe à l'heure actuelle aucune règle de conception claire pour les ingénieurs et les architectes (à part acheter les produits certifiés C2C). Si nous nous référons à un des principes développant le recours aux énergies renouvelables comme source d'énergie alternative par exemple, nous ne pouvons croire à une autonomie totale concernant ce type de production énergétique puisque les surfaces libres au sol ne sont pas suffisantes pour répondre à la demande actuelle (éolien, solaire, géothermie)[15].

Selon une analyse réalisée par l'OVAM en 2011, les projets de construction s'inspirant du C2C ne diffèrent pas significativement d'autres constructions dites 'durables' et présentant de hautes ambitions en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie, de l'eau et du bouclage de leur cycle. Ce qui les différencie, c'est l'approche intégrée d'éco-bénéficience au niveau de la sélection des matériaux et la fermeture de leur cycle de réutilisation. Toujours selon cette même étude, l'avantage que représente le C2C est son approche intégrée contrairement à la démarche unilatérale de principes tels que la 'maison passive' ou la 'maison zéro énergie' misant uniquement sur l'aspect énergétique [OVAM, 2011_B]. Notons qu'il existe à l'heure actuelle de plus en plus de matériaux de construction certifiés C2C, mais ils restent néanmoins limités et ne sont pas forcément accessibles sur le marché européen. Pour le choix des matériaux de construction, il est donc important de se baser sur d'autres données complémentaires et disponibles: systèmes de labellisation, de classification et d'évaluation tels que le NIBE, les EPD, les LCA.

Pour conclure, le potentiel de développement ultérieur de la philosophie du C2C dans le secteur de la construction est important, mais nécessite une adaptation et une évolution du système pour une meilleure adéquation avec les spécificités du secteur. Par exemple, le C2C ne considère pas le comportement des habitants (consommation des ressources, de nourriture, mobilité) et ne tient pas réellement compte de l'interaction du projet avec l'environnement et le développement du quartier, de la région (accessibilité, utilisation du sol, densité...). Concernant la certification,

15 - Source: McKAY, Sustainable Energy - Without the Hot Air (www.withouthotair.com)

nous pensons qu'elle est actuellement plus adéquate et adaptée aux matériaux de construction (et encore pas à tous!) qu'aux bâtiments en tant que tels.

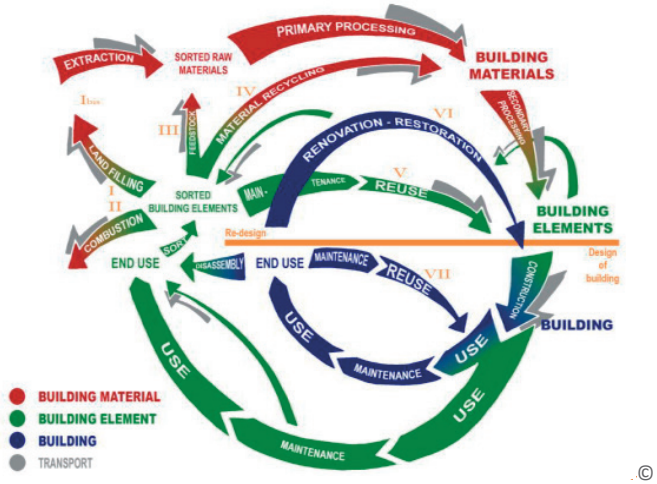
1.3. 4Dimensional Design Strategy

1.3.0. Introduction

La stratégie *4Dimensional Design* (4D) propose une vision dynamique de l'environnement construit. Elle offre une réponse anticipative à l'évolution du bâtiment sur le long terme: il s'agit de construire pour une adaptabilité et une déconstructibilité des systèmes, assembler dans le but d'être désassemblé ou agrandi. Le potentiel de récupération et de recyclage des matériaux, composants, systèmes est étudié pour être optimisé. Il est question de stratégie de conception se basant sur des règles de standardisation d'assemblage et de dimensionnement [DEBACKER, 2008].

Le *4Dimensional design* (4D) se réfère à une attitude du concepteur, utilisant sa créativité et ses connaissances pour produire un artefact à caractère « durable » suivant une perspective de cycle de vie. Cela se traduit par l'intégration d'une quatrième dimension, à savoir le temps, dans les premiers stades du processus de conception [PADUART, 2012]. Cela signifie une adaptabilité aux changements imprévus, une réponse matérialisée au processus d'évolution et de variation dans le temps du bâtiment sans pour autant figer les interventions futures. Le schéma ci-dessous illustre l'approche cyclique du 4D intervenant sur les différentes échelles du bâtiment.

Figure 1.3: Illustration de l'approche circulaire du *4Dimensional Design* selon les différentes échelles du bâtiment (matériaux, composants/éléments, bâtiment)



Source: [DEBACKER, 2008]

1.3.1. Objectif et échelle d'action

L'objectif vise à réaliser des bâtiments flexibles et adaptables dans le temps par la mise en œuvre de composants remplaçables ou maintenables et de matériaux séparables aisément pour rejoindre le métabolisme de la biosphère ou de la technosphère (voir chapitre 1.2). L'action se situe donc à différentes échelles du bâtiment (matériaux, composants/éléments, systèmes, bâtiment) et concerne tout abord les choix de conception et ensuite la qualité de mise en œuvre et de désassemblage.

1.3.2. Outils

Design for Reuse and Disassembly

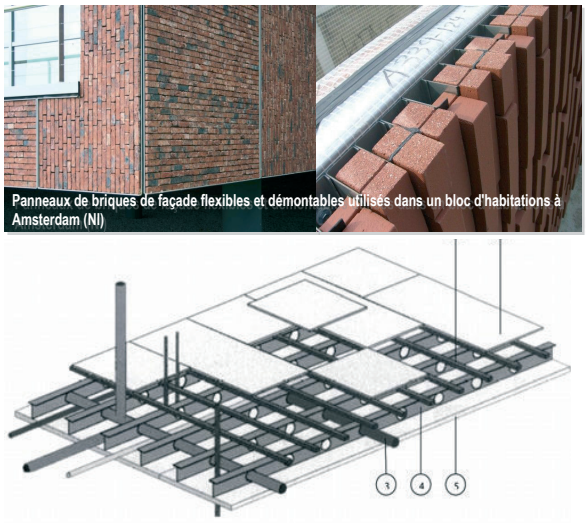
Design for Recycling: théorie de TE DORSTHORST & KOWALCZYK (2002)

Cette théorie propose trois stratégies de conception à différentes échelles:

- le **démontage** (design for dismantling) aisé des matériaux constituant dans un objectif de récupération pour la réutilisation, le recyclage (up-cycling) ou la décomposition (retour vers cycle naturel). Ces principes ont été développés dans le chapitre précédent concernant le Cradle to Cradle.
- la **déconstruction** (design for deconstruction) des éléments et composants de la construction par désassemblage dans le but de leur récupération, réutilisation dans le système.
- l'**adaptabilité** (design for adaptability) des constructions aux contraintes engendrées par des modifications ultérieures (avec ou sans rénovation).

Dans nos pays, les bâtiments sont érigés en général pour une durée de vie de 50 à 100 ans. Stewart BRAND, dans son ouvrage « How Building Learns », définit différentes strates ou couches dans le bâtiment, chacune d'elles présente un taux de renouvellement et d'entretien différent [BRAND, 1994]. Or, dans de nombreux cas, les éléments techniques ou de services, à remplacement plus fréquent, sont couplés aux éléments structurels présentant une durée de vie plus longue. Il en résulte une tension entre les différentes couches et une diminution des possibilités d'intervention aisées [DEBACKER, 2008].

Figure 1.4: Exemples de design for deconstruction



©

Source: formation IBGE 'Construction et rénovation de bâtiments durables' - septembre 2011:Gestion et évitement des déchets de C&D (DEBACKER W.)

Stichting Architecten Rersearch SAR (1965)

Le SAR est fondé aux Pays-Bas en 1965 dans le but de stimuler le rapport entre industrialisation et logements en proposant des solutions alternatives à la construction de masse uniforme et rigide caractéristique de l'époque. La méthode vise également à laisser à l'individu l'opportunité d'une personnalisation de l'agencement de l'espace. L'approche de SAR repose sur trois concepts :

- le « **portant et le remplissage** » (traduit littéralement de *support and infill*),
- une **coordination de systèmes modulaires** et,
- l'utilisation de « **zones et marges** » (appelés espaces interstitiels).

Le « portant » représente la structure portante, élément commun à caractère permanent, alors que le « remplissage », définit en ce sens par « éléments amovibles », requiert de du choix et des besoins de l'habitant: une multitude de solutions personnalisées peuvent alors voir le jour et évoluer dans le temps[16] [DEBACKER, 2008].

Cependant, le caractère permanent de la structure portante ainsi que la position fixe des espaces de circulation et de décharge limitent les opportunités d'adaptabilité des espaces aux seules parois non portantes (cloisons, portes...). De plus, la conception de la structure induit indirectement les possibilités de « remplissage » ou d'aménagement des espaces intérieurs. Dans cette optique, le SAR définit différents types de zones entrecoupées d'espaces interstitiels ou « marges »: les zones de vie géné-

16 - Données disponibles sur www.architectuurgeschiedenis.nl

rales (fonction non spécifiée), les zones de vie spécifiques (espace déterminé par une fonction spécifique), les espaces utiles (courte période d'utilisation). Le concepteur investigue les différentes possibilités de subdivision et en déduit la structure souhaitée [DEBACKER, 2008].

Pour faciliter la compatibilité entre structure portante et remplissage, le SAR propose de travailler sur une grille modulaire établie de 30 sur 30cm. Or, l'invariabilité de cette échelle modulaire ne répond pas forcément aux différentes échelles du bâtiment: du plus petit élément technique aux dimensions structurelles en passant par l'échelle fonctionnelle et spatiale. L'approche du SAR possède ses limites: une conception basée sur une échelle multimodulaire et sur l'importance des nœuds constructifs semble répondre à ces lacunes [DEBACKER, 2008].

Figure 1.5: Juxtaposition de zones et espaces ou « marges »



©

Source: [DEBACKER, 2008]

Hendrickx-Vanwalleghem

En réaction à notre culture occidentale matérialiste, les architectes Hendrickx et Vanwalleghem ont également développé un concept pour encourager la « réutilisation » dans le bâtiment. Leur approche reprend un ensemble de systèmes constructifs compatibles entre eux et composés d'une variété d'éléments de construction adaptables et réutilisables suivant des règles de combinaison et de standardisation [DEBACKER, 2008].

1.3.3. Développement des principes

Les principes à appliquer selon la *4Dimensionnal Design Strategy* sont les suivants:

- concevoir des bâtiments flexibles et adaptables dans le temps
- choisir des composants remplaçables ou maintenables
- choisir des matériaux séparables aisément dans le but que ces derniers rejoignent le métabolisme de la biosphère ou de la technosphère[17]

17 - Termes utilisés dans la théorie du *Cradle to Cradle* (voir chapitre précédent).

- tout en assurant une réponse aux contraintes normatives et techniques

L'application de ces principes nécessite un travail important à l'échelle du détail.Plus particulièrement, en ce qui concerne la conception de kit de construction multiusage, une attention particulière doit être portée à (DEBACKER, 2008):

- l'adaptabilité
- la construction et déconstruction (facilité de mise en oeuvre)
- la maintenance
- la réutilisation possible des éléments
- le transport aisé
- la capacité structurelle
- le confort
- le coût

1.3.4. Exemples d'application

Concernant l'application de la théorie du SAR, la Mémé de Lucien Kroll aux allures d'emboitement de box et construite en 1970 à Woluwe-st-Lambert se base sur l'application des principes de « zones et de marges ».

Concernant le *4Dimensional Design,* la construction en kit, la construction temporaire d'urgence et les logements transitoires constituent les premières applications du principe. Le critère principal concerne la construction/déconstruction aisée et l'adaptabilité des unités en matière de conditions climatiques, de confort et d'espace. Le recours à ce type d'unité ou de kit peut provenir d'une nécessité résultant de tensions politiques, de situations de guerre ou d'un accroissement ponctuel de la population (besoin de logements pour étudiants à proximité des centres universitaires). Dans ce dernier cas, nous pouvons citer quelques exemples comme la « *container city* »[18] à Londres ou encore les « *spacebox* »[19] (logements pour étudiants) pour lesquelles un conteneur représente une unité de logement (studio). Ces « *spacebox* » peuvent être combinées de différentes manières. Les unités arrivent préassemblées permettant une installation et une désinstallation rapides. Elles répondent à un besoin urgent en logement, mais ne sont cependant pas conçues selon le principe de désassemblage. En effet, les parois constituant une unité se composent de panneaux sandwichs collés formant des ensembles autoportants [DEBACKER, 2008].

18 - Projet de logement situé dans les Docklands de Londres et réalisé par Container City™ - Nicholas Lacey Architects. Une première phase de 14 unités est réalisée en 2001 (5 mois de chantier dont 4 jours d'installation), la seconde de 22 unités est mise en place en 2003. Données récoltées sur le site www.containercity.com.

19 - Design développé par Mart de Jong du bureau De Vijf à Rotterdam, Pays-Bas, et réalisé en 2004 à Utrecht.

1.3.5. Analyse critique

Le *4Dimensional Design* propose une approche relativement théorique de la problématique. L'avantage est que cette théorie est développée directement en rapport avec le secteur de l'architecture contrairement aux deux démarches précédentes (voir chapitres 1.1 et 1.2). Les exemples d'application concernent principalement les abris ou kits d'habitation de survie qui nécessitent une constructibilité et une déconstructibilité aisées et qui sont envisagés sur des périodes plus ou moins longues, mais de toute façon inférieures à la durée de vie d'un bâtiment « classique ». L'application de la déconstructibilité et de processus de désassemblage n'est que peu envisagée dans le processus de conception de projets plus communs. De plus, le concept est actuellement peu développé en ce qui concerne la rénovation de bâtiments existants alors qu'ils représentent une problématique importante, surtout en Région de Bruxelles-Capitale. Des possibilités d'application du *4Dimensional Design* à la rénovation sont cependant actuellement étudiées au sein de la cellule de recherche æ-LAB de la VUB. Anne PADUART, dans sa thèse *Re-design for change: a 4 dimensional renovation approach towards a dynamic and sustainable building stock* traite de la problématique d'une rénovation dite « dynamique » d'ensemble de logements sociaux construits dans les années '60 [PADUART, 2012].

1.3.6 Regard posé sur l'architecture et la construction

Il est important que l'approche du *4Dimensional Design* considère notre héritage architectural au regard des standards et exigences actuelles de confort et de sécurité tout en envisageant une projection dans le temps (nécessité de réadaptation ultérieure). Nous l'avons mentionné, la VUB au sein de son équipe æ-lab intègre déjà en partie cette question, entre autres par l'étude de possibilités dynamiques de rénovation de bâtiments des années '60. L'enjeu principal des opérations de rénovation énergétique sur des bâtiments existants est la compatibilité et la complémentarité entre aspects patrimoniaux et techniques. Au départ de la conception, il est important de considérer l'histoire du bâti, d'étudier ses éléments constitutifs (matériaux, techniques, structures) et sa valeur « culturelle » en terme architectural, historique et esthétique. De cette analyse sont ensuite formulées les priorités d'action à envisager sur le patrimoine bâti: conserver, rénover, renforcer ou démolir[20]. Nous n'avons pas d'emprise sur le caractère « dynamique » des constructions existantes, mais nous pouvons par contre faire en sorte que nos interventions sur le bâti existant soient pensées dans cette optique afin de faciliter les interventions ultérieures par la réversibilité des assemblages. Or, dans l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe par exemple, nous pouvons observer actuellement une série de modes constructifs peu adaptés à ces principes de réversibilité et d'adaptabilité et qui tendent à se généraliser (exemple des systèmes ETICS). La démarche développée par le *4Dimensional Design* est malheureusement insuffisamment appliquée dans le

20 - Source: æ LAB, VUB (www.vub.ac.be/ARCH/)

secteur de la construction aujourd'hui. Développée selon une vision prospective, elle constituerait pourtant une opportunité réelle de réduction de la production de déchets (et d'une meilleure valorisation de ces derniers) lors d'opérations ultérieures.

1.4. CONCLUSIONS

Concernant les trois théories et concepts étudiés dans cette première partie, seul le troisième (*4Dimensional Design*) semble s'appliquer directement au domaine architectural. L'*écologie industrielle* ainsi que le *Cradle to Cradle* pour leur part ont été développés en premier lieu pour le secteur industriel. Leur applicabilité en architecture nécessite adaptations et transpositions avant de mettre en oeuvre des mesures concrètes et mesurables pour l'architecture. Quant au *4Dimensional design*, les préceptes d'adaptabilité et de flexibilité dans le temps sont des notions de plus en plus prônées dans la conception de l'architecture « durable ». Cependant, ces principes sont peu utilisés et rarement mis en pratique à l'heure actuelle dans la construction considérée comme « standard », surtout au niveau du secteur résidentiel. Par contre, l'adaptabilité, la flexibilité, la démontabilité sont plus couramment appliquées pour les affectations de bureaux présentant un taux de renouvellement fréquent: structure modulaire, plan libre, cloisons amovibles... Par rapport au bâti résidentiel existant, la démarche reste néanmoins théorique et mériterait une attention particulière quant au développement de solutions concrètes. De manière globale, l'application des principes énoncés par ces trois courants apparaît dans de nombreux cas peu adaptée aux spécificités de l'existant.

Chacune des approches abordées propose différentes échelles d'action partant du microscopique au macroscopique. L*'écologie industrielle* s'attelle aussi bien à l'échelle moléculaire (microscopique) qu'à l'échelle du produit (mésoscopique) ou d'un territoire (macroscopique). Le *Cradle to Cradle* est clairement plus axé sur l'échelle du produit (dans sa composition physico-chimique), mais peut être étendu au bâtiment voire, plus rarement, à un territoire. Le *4Dimensional Design* travaille à l'échelle de l'assemblage de produits (matériaux) et d'éléments formant un ensemble, le bâtiment, par le biais de l'outil que constitue le détail technique. Comparativement, nous traiterons surtout de l'échelle du bâtiment, de ses composantes, éléments et matériaux dans la suite de cette recherche. Et dans une moindre mesure, nous aborderons l'implication de ces matières à l'échelle de la région.

Globalement, une idée semble récurrente dans chacun des trois courants analysés: l'inspiration du modèle de l'écosystème naturel et de son caractère cyclique tendant vers un certain équilibre. Dans le cas du *4Dimensional Design*, cette référence se traduit par la possibilité de démontage et de séparation aisés des matériaux dans le but de rejoindre les cycles de la biosphère et/ou de la technosphère développés par le *Cradle to Cradle*. Ce concept de bouclage s'oppose directement au caractère linéaire du fonctionnement de notre économie qui est à la base des problèmes et

enjeux environnementaux actuels: épuisement des ressources (sans renouvellement de ces dernières) et production croissante de déchets nécessitant des traitements polluants. Afin de tendre vers un objectif de bouclage soutenu par l'*écologie industrielle*, la notion de déchet devrait être redéfinie pour que ce déchet constitue une ressource. C'est ici que l'outil de l'écoconception prend toute son importance: un produit ne peut constituer une ressource en fin de vie que si cette phase a été intégrée et anticipée au stade de sa conception initiale. Il semble donc primordial de considérer l'ensemble du cycle de vie d'un produit, d'un bâtiment pour faire en sorte que ce dernier constitue une richesse et non un problème à régler en fin de vie[21]. Concernant les échelles d'action plus larges (quartiers, territoires, régions), le concept de bouclage ne peut être appliqué que par une connaissance approfondie des flux et stocks de matières, d'énergie et des échanges internes au système considéré. Nous revenons ici à l'utilisation de l'outil de diagnostic indispensable que constitue l'analyse de flux de matière. Ce prédiagnostic de flux et de stocks constitue en outre une partie importante de ce travail qui sera traitée dans la troisième partie.

Le concept de « bouclage » et de « déchet comme ressource » présent sous des aspects différents dans les trois courants étudiés constitue le fil conducteur et la base de réflexion de la présente recherche. De plus, cette conception cyclique du système rejoint plus largement de nouveaux modèles économiques telles que l'économie circulaire[22] inscrite dans les nouveaux objectifs européens[23], l'économie verte, l'économie de fonctionnalité... ou encore l'urban mining. Elle s'inscrit donc tout à fait dans les préoccupations actuelles de l'Union Européenne.

Appliqué à l'architecture, ce concept cyclique pose quelques questions: comment faire en sorte que nos actions sur le bâti existant constituent des opportunités futures en termes de ressources matérielles? Quelles solutions de mise en oeuvre actuelles présentent un potentiel de réutilisation ultérieur? Dans cette optique, nous avons émis l'hypothèse que le bâtiment pourrait être considéré comme un stock de matières en attente de réutilisation ultérieure (dans de nouveaux cycles), sorte d'entreposage de matières assemblées. Évidemment, cette vision du bâtiment peut paraître réductrice, car le bâti constitue autre chose qu'une simple somme de matériaux: il représente un lieu de protection contre les contraintes climatiques, un lieu de souvenir et de mémoire, un lieu d'échange, un lieu de travail, un lieu confortable ou inconfortable, etc. Ces aspects font du bâtiment un système complexe combinant technicité de réalisation et subjectivité d'occupation. Le rôle de l'architecte est en ce sens primordial et tout à la fois difficile. Néanmoins, et dans un premier temps, nous

21 - Nous attirons l'attention sur le fait que le terme 'fin de vie' utilisé fait plus référence à une approche linéaire (appelée aussi *end of pipe*). Dans une approche cyclique, ce terme devrait plutôt être remplacé par 'fin de cycle' puisque le produit est incorporé dans un nouveau cycle.
22 - www.ellenmacarthurfoundation.org (fondation à la base de l'économie circulaire)
23 - La Commission Européenne travaille actuellement sur une nouvelle stratégie d'économie circulaire pour l'Europe (Roadmap for a Circular Economy Strategy). Les informations sont disponibles sur http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/

considérons cette étape « réductrice » essentielle pour enclencher une meilleure compréhension des dynamiques de flux et de stocks générés par les opérations de rénovation actuelles. Ce n'est que sur base de cette meilleure compréhension que nous pourrons prétendre à une optimisation du système vers un bouclage.

Le tableau présenté ci-après reprend la synthèse des trois concepts abordés.

Tableau 1.1: Tableau comparatif des trois théories et concepts étudiés

COURANTS	ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE	CRADLE TO CRADLE	4DIMENSIONAL DESIGN
NAISSANCE	1950 (Frosch-Gallopoulos) 1983 (essai Ecosystème Belgique) 1998 (Erkman)	1990 (rencontre Braungart et Mc Donough) 2002 (le livre: Cradle to Cradle: Remaking the way we make things)	2007-2008?
OBJECTIFS	restructuration écologique	élimination du concept de déchet: déchet = nourriture	flexibilité, adaptabilité des bâtiments dans le temps
ÉCHELLE	* moléculaire	* produit	* matériau/produit
	* produit (chaine de production)	(* bâtiment)	* composants/éléments
	* territoriale	(* territoriale)	* bâtiment
OUTILS	étude du métabolisme industriel (dynamique des flux et stocks d'énergie, de matière, de déchets): outils de diagnostic	écoconception: conception intégrant la réutilisation du produits ou de ses composants en fin de vie comme nutriments et, dont la fabrication ne pose aucun dommage à l'environnement ou la santé humaine	conception intégrant les possibilités de maintenance, d'entretien mais également de remplacement, désassemblage et récupération
	ACV (Analyse du Cycle de Vie)		importance du détail, nœuds constructifs
	AFM (Analyse des Flux de Matières)		
PRINCIPES	* bouclage et valorisation des déchets comme ressources	* suppression de la notion de déchet: nutriments biologiques et techniques suivant le bouclage des cycles de production	* flexibilité et adaptabilité dans le temps pour les bâtiments
	* décarbonisation	* utilisation d'énergies renouvelables	* maintenance et caractère remplaçable des composants/éléments du bâtiment
	* étanchéification	* support à la diversité (biologique, culturelle, conceptuelle)	* possibilité de séparation des matériaux (démontage) pour rejoindre la biosphère ou la technosphère
	* dématérialisation	* gestion de l'eau	
INSPIRATION	modèle de l'écosystème naturel	modèle de l'écosystème naturel	modèle meccano (pièces réutilisables par désassemblage)
		concept d'éco-bénéficience (eco-effectiveness) >< modèle d'éco-efficacité prôné actuellement	
APPLICATION	synergies, symbioses industrielles: réseaux d'échanges, mutualisation, substitution des flux	label C2C principalement pour les produits: basic, silver, gold, platinum	construction en kit, conteneurs assemblables, constructions temporaires d'urgence
		application des principes sans label: bâtiment, région	construction modulaire
LIMITES	nouvelle forme de capitalisme?	incohérences entre philosophie et système de labellisation	approche principalement théorique
		accessibilité au label?	
	lacune au niveau des aspects sociaux, éthiques et culturels	manque de transparence et d'indépendance du programme de certification	rigidité de l'approche modulaire: nécessité d'avoir recours à une échelle mutli-modulaire adaptée aux différents systèmes et composants du bâtiment
		compatibilité des solutions prônées avec la biosphère et notre modèle économique actuel?	
	nécessité de clarification des termes utilisés et définition plus précise	peu d'exigences au niveau des aspects sociaux, éthiques et culturels	
		système parfois trop simpliste	
		manque de précisions de certains termes utilisés et de pistes concrètes	
APPLICABILITÉ EN ARCHITECTURE	non appliqué actuellement ou alors indirectement	peu appliqué en tant que tel car pas de labellisation à la clé: les projets C2C ne diffèrent pas significativement d'autres constructions 'durables'	peu de réflexion portée sur le caractère démontable, désassemblable des constructions au stade du projet
	nécessite une adaptation pour l'application à l'architecture car adapté aux produits industriels	peu voir pas de solutions concrètes proposées (charte uniquement) surtout concernant le patrimoine bâti existant	peu voir pas de solutions proposées en ce qui concerne le patrimoine bâti existant
		nécessite une adaptation pour l'application à l'architecture car adapté aux produits industriels	

PARTIE 2:

LE DÉCHET

2.0. INTRODUCTION

Dans le contexte actuel où les considérations environnementales sont omniprésentes et incontournables, les déchets représentent une problématique dont les enjeux sont de taille. Pouvant être à la source de pollutions diverses, telles que les émissions vers l'air (incinération), l'eau et le sol (décharges) et les risques sanitaires et environnementaux sous-jacents, les déchets constituent également un potentiel de substitution de ressources naturelles considérable [IBGE, 2010_A]. Ils ne concernent pas uniquement des rebuts de postconsommation, ils existent à tous les stades du cycle de vie des produits: extraction, fabrication et consommation. À l'échelle européenne, la production de déchets résultant de la phase de fabrication industrielle représente environ 3.500 kg/hab.an, près de 17.000 kg/hab de matières premières sont importées annuellement pour l'industrie, sans compter les déchets de première transformation. La consommation « cachée » de matières (ressources et déchets) derrière les produits de l'industrie est estimée à 50.000 kg/hab.an [IBGE, 2010_A]. Au regard de l'évolution démographique que nous connaissons, ces chiffres risquent encore de croître de manière considérable.

Pour faire face à l'augmentation croissante de la production de déchets avec les conséquences environnementales et sanitaires y étant liées, une législation et des réglementations spécifiques aux déchets ont été créées, adaptées,complétées et implémentées au fil du temps. De même que les infrastructures de traitement des déchets ont fortement évolué: alors que la pratique du « tout à la décharge » était une pratique commune en Belgique il y a plus de vingt ans, elle est aujourd'hui exclusivement réservée aux déchets ultimes, c'est-à-dire plus valorisables. Concernant le traitement de ses déchets, la Région de Bruxelles-Capitale ne peut prétendre à une autosuffisance malgré son incinérateur et ses installations de recyclage et de compostage (environ 120.000 tonnes/an principalement pour les déchets ménagers). Elle dépend donc fortement des régions voisines et de leurs réglementations respectives notamment en matière de mise en décharge ou de traitement de certains flux spécifiques. C'est pourquoi il est extrêmement difficile de limiter les marchés entre régions ainsi qu'au niveau transfrontalier. Encourager une harmonisation des réglementations interrégionales est donc essentiel [IBGE, 2010_A].

En outre, étant donné cette dépendance au niveau du traitement, la région bruxelloise a aussi tout intérêt à réfléchir sur le développement de solutions de valorisation des déchets au niveau local. Pour trouver des éléments de réponses et des pistes de réflexion face à cette problématique, il est également important de savoir que la situation liée au traitement des déchets telle qu'on la connait actuellement est également le fruit d'un héritage historique fait, entre autres, de rupture de liens entre secteurs, d'épidémies, d'avancées technologiques et de programmes politiques [KOHLBRENNER, 2014]. Enfin, malgré une sensibilisation au tri sélectif des déchets ménagers relativement aboutie, notons qu'il existe encore à l'heure actuelle un phé-

nomène de « déresponsabilisation » face à la problématique des déchets. *Monsieur « tout le monde » dépose son sac bleu et son sac blanc le mardi soir sur le trottoir, c'est devenu une habitude. Cependant, il ne se doute pas un seul instant de ce qu'il adviendra réellement des déchets contenus dans ces sacs, ni même des quantités générées par tous les « monsieur et madame tout le monde ». Comment dès lors peut-il prendre conscience des conséquences du tri ou du gaspillage réalisé ?* Généralement, le caractère « rebutant » (=rebuts) ou « immonde » (=immondices) de ces matières en fin de vie ne leur confère pas un grand succès ou une appréciation positive auprès de la population qui les considèrent plutôt comme inévitables, mais embarrassantes. Les plus démunis y trouveront par contre leur compte et un moyen de subsistance minimale. La question du déchet est donc une question environnementale, mais également une question économique et sociale.

Bien que les considérations économiques et socioculturelles soient tout aussi importantes dans la problématique du déchet, nous nous concentrerons dans cette partie de la recherche sur le statut du déchet et sa position dans le secteur de la construction. En effet, pour rejoindre le principe énoncé en première partie qui considère le déchet comme ressource, il nous faut d'abord savoir ce qu'est un « déchet », quelle est sa définition, sa nature ? Quelles sont les réglementations et législations auxquelles les déchets sont soumis ? Quelles sont les filières de traitement lorsqu'ils proviennent du secteur de la construction ? Et quels sont les acteurs impliqués ? Cette partie de la recherche aborde ces diverses questions dans l'optique de mieux comprendre le fonctionnement du « système-déchet » appliqué au secteur de la construction.

2.1. SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LE TERME « DÉCHET »

Le déchet, résidu, excrétas ou rebut, quel terme est-il juste d'employer ? Lors de notre investigation, nous avons pu remarquer que le terme « déchet » semble plus complexe à appréhender que ce que nous pourrions penser et qu'il peut être sujet à diverses interprétations. Le « déchet » est un mot couramment usité, mais qui sous-entend une série de formes différentes. Or, dans le cas où une législation et des règlementations s'y rapportent, le sens de sa définition prend toute son importance.

2.1.1. Définition

Le mot « déchet » n'est pas apparu avec la loi-cadre de 1975[1], l'expression provenant du terme *déchoir* apparait au XIIIe siècle sous la forme *déchié* ou *déchiet*. À l'époque, ce mot est défini assez précisément par « ce qui tombe d'une matière travaillée par la main humaine », ce que nous nommons aujourd'hui les « chutes ». En 1580, cette définition est précisée par Montaigne comme une *diminution en volume, en quantité, en valeur, subie par une chose pendant sa fabrication, son emploi*. Le terme

1 - Source: Directive 75/442/CEE du 15 juillet 1975.

« ordures ménagères » apparait quant à lui dans les années 1860-1870 alors qu'Eugène Poubelle instaure à Paris l'obligation de déposer ces dernières dans des « boîtes à ordures » collectées par les services municipaux. Nous les appelons aujourd'hui « poubelles » en référence au nom de son instigateur [BARLES, 2005].

Les **rebuts** sont les restes rejetés de nulle valeur, ce qu'il reste de mauvais. Les **résidus** proposent une définition plus précise, plus spécifique puisqu'il s'agit de matières subsistant après une opération physique ou chimique, une transformation industrielle, une fabrication, en particulier après extraction des produits de plus grande valeur[2]. Les **excrétas** désignent les matières éliminées par l'organisme consistant principalement en déchets de la nutrition et du métabolisme. Si nous rejoignons l'hypothèse de villes et d'industries se calquant sur le modèle des écosystèmes naturels, nous pouvons donc considérer que les excrétas représentent un terme pouvant être utilisé dans de tels cas pour signifier leurs rejets[3].

Outre les appellations diverses, le **déchet** possède aujourd'hui de multiples facettes et est défini différemment en fonction du secteur et du point de vue concernés (étymologique, économique, environnemental, sociétal...). Selon la législation actuelle en vigueur et la Convention de Bâle[4], le déchet est défini comme *toute matière, substance ou tout objet dont le détenteur se défait, a l'intention de se défaire, ou a l'obligation de se défaire en vertu des dispositions nationales en vigueur, qui ne possède plus de valeur commerciale ou d'utilisation avantageuse* [BREELS, 2005][5]. L'OCDE ou encore Eurostat (sous un angle de vue économique) précisent que les déchets peuvent être générés pendant l'extraction des matières premières, ainsi que durant le processus de transformation et la phase de consommation du produit fini, et lors de toutes activités humaines. Ils excluent néanmoins tout déchet recyclé ou réutilisé sur le site de production ainsi que les « déchets » directement libérés dans l'air ou l'eau. La définition du Larousse rejoint très globalement cette approche puisqu'elle caractérise les déchets comme *des matériaux rejetés n'ayant pas de valeur immédiate* (économique) *ou comme des résidus de processus et d'opérations*[6] (extraction, fabrication, consommation...).

Si nous nous en tenons à la définition légale, cela reviendrait à considérer toute matière, objet, produit ou substance abandonné(e), comme un déchet. Or, ce n'est pas

2 - Source: Dictionnaire français Larousse (www.larousse.fr/dictionnaire/francais-monolingue)
3 - Ce terme est précisément utilisé par Sabine Barles pour signifier les rejets du métabolisme urbain (BARLES, 2005)
4 - La Convention de Bâle (1989) est un traité international visant la réduction de la circulation des déchets dangereux et toxiques entre les pays (surtout entre pays développés et en voie de développement) par la mise en place de contrôles de l'élimination et des mouvements transfrontaliers des déchets dangereux.
5 - Définition donnée sur base de la loi cadre du 15 juillet 1975 et sur base de l'annexe I du décret du 27 juin 1996 fixant les catégories de déchets.
6 - Source: Dictionnaire français Larousse (www.larousse.fr/dictionnaire/francais-monolingue)

parce qu'un objet est « abandonné » par son détenteur qu'il est pour autant inutilisable, qu'une transformation préalable soit nécessaire ou non. Seuls les déchets dits « ultimes » peuvent être considérés comme réellement inutilisables.

Plus spécifiquement, il est possible d'adjoindre au mot « déchet » un qualificatif permettant une plus grande précision de définition du terme. Ainsi, nous pouvons retrouver[7] parmi ces déchets « caractérisés »:

- les **déchets municipaux/déchets ménagers** qui sont les déchets produits par les ménages et récoltés par les services communaux de collecte, les parcs à conteneurs, les balayeurs... . L'unité de comptabilisation est le kg/habitant. Ce type de déchets ne constitue pas l'objet de cette recherche.
- les **déchets verts** qui sont des déchets d'origine végétale provenant des activités de jardinage (déchets des particuliers) ou d'entretien des espaces verts (déchets communaux). Ce type de déchets ne constitue pas l'objet de cette recherche.
- les **déchets inertes** qui sont des produits naturels non souillés qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction chimique, physique ou biologique durant leur stockage.
- les **déchets industriels banals (DIB)** qui sont des déchets non inertes et non dangereux produits par l'artisanat, l'industrie, le commerce, les entreprises et les services (métaux, papier/carton, verre, plastiques, bois...).
- les **déchets industriels spéciaux (DIS ou déchets dangereux)** qui sont les déchets contenant des substances dangereuses et nécessitent des traitements spécifiques pour leur élimination.
- les **déchets ultimes (DU)** qui représentent des déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique, la dernière étape leur étant destinée est donc l'enfouissement.
- les **matières premières secondaires (MPS)** qui sont des déchets ayant subi une ou plusieurs transformations et traitements dans le but d'obtenir un produit utilisable dans les procédés de fabrication pour remplacer la matière première initiale.

Il existe encore bien d'autres types de déchets portant des définitions différentes: déchets nucléaires, encombrants, déchets hospitaliers ou d'activités de soins, déchets organiques ou fermentescibles, etc. Toutefois, seuls les déchets ayant un lien direct avec le secteur de la construction seront ici traités.

Quelles finalités sont réservées à l'ensemble de ces déchets ? Nous verrons dans la suite de cette partie que selon la législation en vigueur et les filières existantes, différentes étapes et opérations en relation avec le déchet de construction peuvent être définies. Nous reprenons néanmoins ci-dessous les différents termes liés au traitement des déchets de manière générale et qui seront plus spécifiquement définis

7 - Définitions en partie inspirées du dictionnaire 'Environnement' de www.actu-environnement.com

dans le chapitre sur les *étapes et filières*.

- prévention
- tri
- collecte
- valorisation
    - > préparation en vue du réemploi
    - > réemploi
    - > recyclage
    - > valorisation énergétique
    - > valorisation organique
- élimination
    - > incinération (sans valorisation énergétique)
    - > mise en décharge contrôlée (ou CET-Centre d'Enfouissement Technique)

La gestion des déchets reprend en général les opérations de tri, transport, collecte, valorisation/traitement et élimination ainsi que la surveillance de ces opérations y compris après fermeture des sites de décharges.

Nous l'avons remarqué, la définition du terme « déchet » est relativement floue tant qu'elle ne se réfère pas à un secteur spécifique ou tant que le mot « déchet » ne s'accompagne pas d'un qualificatif se référant à sa nature (exemple: déchet inerte, déchet vert...). Pour notre part, ce flou représente une opportunité d'élargissement du terme au concept de ressource, rejoignant ainsi les objectifs développés par les courants analysés en partie 1. Les « ressources » sont définies comme *les moyens matériels qu'offre quelque chose ou dont un pays, une région dispose dans tel domaine*[8]. La définition du terme est donc également très large et nécessite d'être replacée dans un contexte spécifique ou d'être adjointe d'un qualificatif pour préciser son sens (ressources humaines, financières, matérielles, géologiques, naturelle...). Si nous référons plutôt à la notion de « ressources naturelles », qui représentent les *ressources minérales ou biologiques nécessaires à la vie de l'homme et à ses activités économiques*[9], les déchets matériels pourraient être considérés comme des ressources non renouvelables, c'est-à-dire dont le stock est épuisable.

Tout ne serait donc qu'une question d'interprétation: le déchet de l'un peut constituer la ressource d'un autre, tout dépend de leurs besoins et de leur relation à l'objet usagé et délaissé[10]. La difficulté résultant de l'imprécision de la définition concerne la frontière entre déchet et ressource: à partir de quand le déchet devient-il ressource ? Nous serions tentés de dire: à partir du moment où une demande, un besoin ou une obligation est formulé dans le sens d'une récupération, bien que cette précision ne

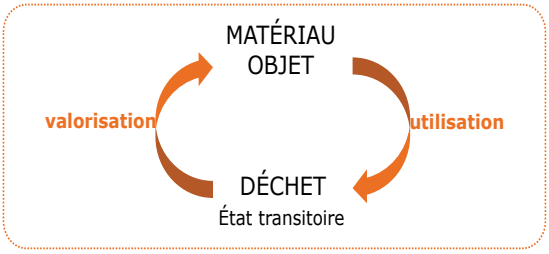
8 - Source: Dictionnaire Larousse

9 - Source: Encyclopédie Universalis

10 - Cette approche rejoint directement les théories de l'écologie industrielle et du Cradle to Cradle présentés précédemment

stipule pas si le changement de statut s'opère dès l'acte d'abandon du produit, ou à partir du moment où il est repris par un système de collecte ou encore, à partir du moment où il a subi le traitement. Dans l'objectif où la matière en fin de vie est d'office valorisée comme une ressource, nous proposons de considérer le déchet comme un état transitoire du matériau ou objet en fin d'usage qui pourrait redevenir matière,matériau, objet après une étape de valorisation. Le schéma ci-dessous illustre la définition que nous proposons au terme générique « déchet ».

Figure 2.1: Proposition de définition du déchet



©

2.2. NAISSANCE-EVOLUTION-PERSPECTIVES

Bien que le déchet, quelle que soit son appellation, existe depuis que l'homme exerce des activités de production et de consommation de biens (agriculture...)[11], il semblerait que la problématique du déchet actuelle soit d'une toute autre ampleur: les quantités croissent de manière exponentielle et la nature des déchets à traiter s'est fortement complexifiée. En effet, alors qu'anciennement les pertes et les gaspillages étaient réduits au minimum (ces déchets étaient valorisés comme un type de ressource locale), aujourd'hui, le déchet signifie bien souvent « fin de vie » par extension à la sortie de ces matières du circuit économique durant une durée indéterminée [ATHANASSIADIS, 2012]. L'avènement du déchet tel que nous le connaissons, c'est-à-dire croissant et problématique, est vraisemblablement une production de notre économie industrialisée et de consommation combinée à une urbanisation croissante. Notre rapport actuel au déchet s'expliquerait donc par l'évolution de notre histoire et de notre société. Dans son ouvrage « L'invention des déchets urbains: France 1790-1970 », Sabine BARLES expose les raisons de l'apparition du déchet urbain et ses relations étroites avec l'industrie et l'agriculture. Selon l'auteur, la problématique du déchet est apparue avec l'urbanisation. Effectivement, les villes concentrent et mobilisent des quantités croissantes de matières et d'énergie qu'elles importent, et produisent une masse tout aussi importante d'excrétas[12] qu'elles exportent. Dans ce chapitre, nous souhaitons replacer le déchet dans une

11 - Des preuves relatives à l'existence d'une décharge (première trace de l'existence de décharge) et de plan de gestion des déchets ont été retrouvées à Knossos (Crète) et datées de 3000 a.c (ATHANASSIADIS, 20012)..

12 - Terme utilisé par S.BARLES pour caractériser les déchets urbains (BARLES, 2005)

certaine temporalité en partant de l'invention du déchet urbain tel que présenté par Sabine BARLES, et en proposant des perspectives éventuelles pour les déchets de construction.

2.2.1. La ville, gisement de matières premières

Le déchet, plus aisément assimilé à l'époque au terme de « résidu », faisait l'objet d'une récupération intensive jusqu'au XIXe siècle dans nos régions. Chiffonniers, fripiers, ferrailleurs, ferblantiers, autant de métiers de collecte, de tri et de récupération des déchets jouaient un rôle essentiel dans la valorisation de ces derniers. Il s'agissait certes de métiers exercés par la fraction de la population la plus défavorisée, mais leur apport dans l'évacuation et la régulation des flux de matières résiduelles permettait d'établir un certain équilibre à une époque où les déchets étaient simplement jetés dans la rue et où les systèmes de collecte « officiels » n'existaient pas encore. Aujourd'hui, ces métiers ont quasiment disparu faisant place à des systèmes de collecte organisés et structurés, considérés comme du domaine du service public, ils sont gérés par les intercommunales.

À la fin du XVIIIe et début du XIXe siècle, les villes développent des liens étroits avec l'industrie et l'agriculture. En France, jusqu'aux années 1870, les villes étaient considérées comme des gisements de matières premières pour l'agriculture et l'industrie. Cette dernière s'implantant préférentiellement à proximité des développements urbains et des axes de communication avec ceux-ci alors que l'agriculture réclamait ses excrétas enrichis pour la fertilisation de ses sols. À Bruxelles également, *jusque dans un XIXe siècle bien avancé, les excréments possèdent une valeur marchande et constituent une source de revenus pour l'administration communale. La Ferme des boues assure un lien métabolique entre la ville et les champs. Résidus puis fumiers urbains, les matières organiques retournées à la terre se transforment en denrées alimentaires* bouclant ainsi le cycle [KOHLBRENNER, 2014, p.2]. Cette complémentarité entre ville et agriculture, caractéristique de la première industrialisation, s'établit de façon non volontaire selon la demande du marché. BARLES explique l'imbrication entre ville, industrie et agriculture par la *matérialisation de la circulation de matière comme le métabolisme d'une société en pleine mutation qui atteint son paroxysme dans les années 1860-1870*.

Ainsi, nous retrouvions à l'époque une importante activité du chiffonnage. Cette pratique permettait la récupération de chiffons et tissus en tout genre utilisés dans l'industrie de la papeterie ainsi que la récupération d'os animal pour la construction, la tabletterie, la fabrication de bouton ou encore pour ses constituants: charbon animal pour la fabrication de sucre de betterave, phosphore pour les allumettes, la colle, la gélatine... [BARLES, 2005].

Les vidanges sont les excréments et urines récoltées dans les lieux d'aisance à des

fins d'enrichissement des terres agricoles (engrais). Paris constitue à cette époque une mine d'engrais humains. Ce phénomène se produit également dans d'autres villes. Une scission s'opère vers 1880 où un terme est mis aux échanges opérés jusqu'alors entre villes et campagnes. Le développement de nouvelles techniques pour l'augmentation des rendements de production et la fertilisation des sols met fin à cette coopération. La ville évacuera finalement ses excréments par le système du tout à l'égout aboutissant dans les cours d'eau [BARLES, 2005].

Les boues sont définies par BARLES comme étant une matière complexe à laquelle seule la ville peut donner naissance, une matière première urbaine. Il ne s'agit pas uniquement d'eau et de terre mélangées, c'est un sous-produit des activités urbaines et du « tout à la rue » présents jusqu'à la fin du XIXe siècle: l'absence de pavage des rues, l'intensification des activités urbaines et le manque de ramassage de ces boues accentuent leur production. Elles sont également utilisées et revendues comme engrais pour l'agriculture jusqu'à la scission entre cette dernière et la ville [BARLES, 2005].

2.2.2. Séparation des liens entre ville, industrie et agriculture

La dilatation et l'étalement des villes font apparaître certains obstacles à la conservation de ces liens étroits [BARLES, 2005]:

- l'industrie initialement située en périphérie est englobée dans l'agglomération urbaine, elle subit la pression foncière et peine à cohabiter avec les riverains qui y voient une source de nuisances, l'activité se décentralise peu à peu .
- les terres agricoles sont progressivement phagocytées par la ville et s'en éloignent de plus en plus .

Vers la fin du XIXe siècle, les opérations d'échanges des excrétas urbains vers l'industrie et l'agriculture sont de moins en moins rentables et coûtent de plus en plus chers aux villes qui en tiraient jusqu'alors un bon prix. Les procédés se diversifient et s'affinent, mais ne se poursuivront pas: la séparation s'opère. Les excrétas humains perdent toute valeur économique et agricole. Le chiffonnage décrié par les hygiénistes disparait progressivement. La ville doit alors faire face à une quantité croissante d'ordures ménagères à traiter et à exporter [BARLES, 2005]. À Bruxelles, la difficulté d'écouler les fumiers urbains se pose également: concurrence des villes voisines, nouvelles sources d'engrais et quantités croissantes d'excréments avec l'accroissement de la population en sont à l'origine. Comme conséquence directe de ces phénomènes, l'accumulation des « stocks » d'excrétas dans le centre urbain sera rendue responsable des épidémies de 1832 et 1848 poussant à la mise en place d'un réseau moderne d'égouttage et au voûtement de la Senne [KOHLBRENNER, 2014].
C'est dans ce contexte de déchets urbains excédentaires qu'apparait pour la première fois en Angleterre la solution de l'incinération des déchets. Le principe s'étend à Paris et dans d'autres villes dès le début du XXe siècle. L'avantage est triple: la réduction

des volumes de déchets, la récupération des produits de l'incinération comme matières premières (scories, mâchefers,...) et la possibilité de récupérer l'énergie produite sous forme de chaleur. D'autres solutions pour l'évacuation des déchets sont testées, certaines comme le tout à la mer sont abandonnées. Une option est retenue et institutionnalisée: la décharge contrôlée. BARLES caractérise la mise en place de cet équipement comme le renoncement des villes à résister au déchet.

2.2.3. Le déchet comme nécessité

Nous avons vu que la valorisation des déchets était anciennement bien plus pratiquée que ce que nous avons pu connaître ces dernières années (bien que la tendance tend à s'améliorer grâce aux réglementations) et qu'une « fracture » s'est produite vers la fin du XIXe siècle en ce qui concerne la considération les déchets urbains comme des ressources. Mais la valorisation « spontanée » (c'est-à-dire indépendamment des réglementations) des déchets ne représente pas forcément qu'une pratique liée à un contexte historique révolu, elle est encore actuellement usitée par bon nombre des habitants de cette planète et dépend essentiellement du contexte socio-économique et de leur situation sociale.

Aujourd'hui, on estime en effet que 1 à 2% de la population mondiale survit grâce aux ordures. Prenons l'exemple du Caire. Dans cette ville, la minorité copte n'arrivant plus à vivre de l'agriculture dans les campagnes débarque en masse dès les années 60'. Ils sont tout d'abord « autorisés » à s'installer dans un quartier dépourvu d'eau et d'électricité dont l'appellation actuelle « la cité des déchets » reflète sans détour l'activité qui s'y déroule. En effet, ne trouvant pas de travail dans la capitale, les Coptes du Caire se mettent à récupérer et trier les déchets de la ville par le porte-à-porte et les fouilles de poubelles. Leur quartier est devenu en peu de temps un énorme centre de regroupement et de tri des déchets urbains: les immeubles sont littéralement recouverts d'ordures, ils sont insalubres et les conditions de vie difficiles. Les Coptes représentent 90% de la population de ces quartiers. Grâce à leur travail, le taux de recyclage des déchets du Caire est estimé à 80%[13].

Les minorités coptes sont un exemple, mais face à l'urbanisation croissante et l'augmentation des inégalités sociales, l'expansion des quartiers informels, plus communément appelés « bidonvilles », devient symptomatique des grandes villes. Or, ils représentent certainement les quartiers où le taux de réemploi est le plus élevé. Il semblerait donc que récupération des déchets et inégalités sociales soient liées. Ceux que nous appellerons ici les « valorisateurs de l'ombre » valorisent les déchets par nécessité et non par choix, mais leur nécessité permet le prolongement du cycle de vie de nombreux matériaux (malheureusement, souvent en dépit de leur propre sécurité). Aujourd'hui, le déchet « dévalorisé et dévalorisant », parce que le reflet

13 - Source: BAUER D., Garbage City, une journée dans la cité des déchets, La Cité n°22, juillet 2012

d'une condition sociale est symptomatique d'une situation socio-économique de plus en plus clivée entre les plus pauvres et les plus riches. Dans nos pays « développés », les systèmes de collecte, de recyclage et d'élimination ont remplacé les métiers de « valorisateurs ». La faible minorité de la population vivant encore de la fouille des poubelles le fait également par nécessité de subsistance.

2.2.4. Architecture et palimpseste

Nous avons principalement évoqué jusqu'à présent les déchets caractérisant le métabolisme urbain. En architecture, bien que n'ayant pas de lien direct au déchet, nous souhaitons nous référer dans un premier temps à la notion de *palimpseste*. Le *palimpseste*, du grec ancien « gratté de nouveau », correspond à un manuscrit écrit (parchemin) dont les écritures initiales ont été préalablement grattées ou lavées pour faire place à un nouveau texte[14]. Par extension au domaine de l'architecture, nous retiendrons le terme pour désigner les bâtiments et villes se construisant par destruction et reconstruction successives, tout en gardant l'historique des traces anciennes. Les villes se constituent ainsi par une superposition de couches et de strates d'époques différentes.

Concernant les édifices, la récupération de matériaux provenant d'autres constructions démolies par les guerres ou par les catastrophes naturelles représente une pratique ancestrale, bien qu'elle soit aujourd'hui oubliée ou délaissée. Les raisons de cet « abandon » progressif des pratiques de récupération ne sont pas clairement établies, mais nous pourrions l'expliquer par l'avènement de l'industrialisation (production de masse) et de la mondialisation (impression de ressources illimitées) ainsi qu'une complexité croissante des matériaux de construction de moins en moins adaptés au réemploi. Anciennement, par contre, les constructions étaient réalisées à partir des ressources locales à disposition (terre, bois, pierre...). Les « déchets » de démolition étaient donc utilisés comme des sources de matériaux locaux, peut importait la juxtaposition et le mélange d'éléments de récupération de périodes antérieures avec ceux de la nouvelle construction. Pour les historiens et archéologues, cette juxtaposition représente parfois un vrai challenge lorsqu'il s'agit de dater les bâtiments.

Les matériaux « nobles » et les pratiques de mise en oeuvre utilisés à l'époque permettaient en général un désassemblage aisé qui facilitait le réemploi: pierres bleues, pierres de taille, bois (essences locales), briques pleines moulées main, joints secs, mortier de chaux, etc. D'autres constructions vernaculaires plus anciennes se composaient de matériaux naturels et moins pérennes (terre, paille, bois, torchis...) facilitant leur dégradation dans la nature sans dommages pour cette dernière. Les pertes étaient faibles, les déchets de construction réduits à leur minimum. Aujourd'hui, les techniques de mise en oeuvre ont évolué et la nature des matériaux s'est complexi-

14 - Définition inspirée du dictionnaire français Larousse (www.larousse.fr/dictionnaire/francais-monolingue)

fiée, mais les avancées techniques et technologiques ont réduit considérablement le potentiel de récupération et de valorisation des matériaux de construction en fin de vie. Comment, dans ce contexte, envisager le bâtiment comme un stock de ressources matérielles locales ? Et comment envisager de le valoriser ?

2.2.5. Déchet et matériau

Déchet ou matériau, telle est la question. En soit, le déchet trouve son origine dans la fin de vie ou la fin de cycle d'un matériau. Si la forme est conservée, la valorisation par le réemploi est envisageable alors que si une démolition ou une dégradation se produit, la solution du recyclage sera préférable. À travers le réemploi, le déchet redevient matériau et poursuit un nouveau cycle d'utilisation sans transformation physico-chimique préalable (contrairement au recyclage), rallongeant ainsi la durée de vie du produit. Dès lors, le déchet ne pourrait-il pas appartenir à une nouvelle famille de matériau ?

C'est en tout cas le postulat de Jean-Marc HUYGEN. Il propose quant à lui une cinquième famille de matériau: celle du matériau de réemploi. Il définit les trois premières familles (matériaux métalliques, minéraux et organiques) comme étant des matières essentiellement naturelles. La quatrième famille concerne le *résultat d'assemblages d'au moins deux matériaux non miscibles avec forte capacité d'adhésion présentant des propriétés améliorées que les éléments seuls ne possèdent pas et résultant d'une élaboration de l'homme*, cette famille concerne donc l'ensemble des matériaux composites et hétérogènes occupant une place de plus en plus importante sur le marché actuellement. La cinquième famille, celle des matériaux de réemploi, pourrait s'apparenter à des matériaux composites à la différence qu'elle n'existe pas comme résultat d'une volonté et d'une action humaine de les élaborer en tant que matériaux [HUYGEN, 2008]. Leur disponibilité est présente là où l'homme s'est implanté, elle est donc plus importante en ville qu'en milieu rural puisque la concentration de matières mises en oeuvre par l'homme y est plus concentrée. Considérer les matériaux de réemploi (issus des déchets) comme une famille de matériaux à part entière revient à leur donner une légitimité et une reconnaissance sur le marché du matériau de construction. Cette proposition permet aussi de mettre en avant la question de l'importance des ressources locales à disposition.

La proposition de Jean-Marc HUYGEN rejoint donc ici l'idée du milieu urbain comme source de matières premières de réemploi, et du bâtiment comme gisement de matières. Cependant, certaines particularités du matériau de réemploi nécessitent qu'il soit considéré différemment des quatre autres familles. Les caractéristiques physico-chimiques ne peuvent faire l'objet de généralisation ou d'une quelconque classification, elles doivent être analysées au cas par cas. Ensuite, l'offre ne suit pas forcément la demande, les stocks de certains types de matériaux de réemploi peuvent être limités, les délais d'attente longs. De plus, l'unicité ou l'uniformité de la matière ne

peut être garantie, représentant parfois une barrière quant à la question esthétique. Enfin, le coût de main-d'oeuvre pour la récupération, la remise en état éventuelle et la nouvelle mise en oeuvre de ces matériaux représente également un obstacle dans la situation actuelle [HUYGEN, 2008]. Nous développerons plus en détail les freins liés au réemploi dans la partie 4 de ce travail.

2.3. LÉGISLATION ET RÉGLEMENTATIONS

Dans ce chapitre, nous aborderons les principaux règlements et axes de prévention et de gestion des déchets adoptés au niveau européen et régional. Nous traiterons également de quelques outils non réglementaires pouvant aider et inciter les acteurs du secteur à gérer de manière responsable les déchets produits lors de projets de construction, rénovation et démolition. Enfin, nous citerons l'importance de la réalisation d'études et de recherches encourageant les avancées en matière de valorisation et de gestion des déchets de C&D.

2.3.1. En Europe

Les différents programmes d'action de la Commission Européenne, en ce qui concerne le déchet, peuvent être regroupés en six grandes parties [HANNEQUART,2007][15].

Le premier programme (de 1973 à 1976) est envisagé pour résoudre la dualité du statut du déchet, car il représente à la fois un problème écologique et économique: la connaissance des flux de déchet apparaît comme primordiale dans un objectif de maîtrise de leur gestion, de leur traitement et de leur transport. Il s'agit donc de définir le cadre et de l'uniformiser entre les différents États membres (règles d'autorisation, surveillance et contrôle, prévention). Des obligations spécifiques sont mises en place pour certains déchets dangereux comme les huiles usagées et les PCB (polychlorobiphényles) alors que la directive de 1975[16] propose l'harmonisation des législations suivant les principes de prévention et de réduction ainsi que l'application du principe du pollueur-payeur.

Durant le deuxième programme d'action (de 1977 à 1981), la Commission Européenne introduit la hiérarchie à trois niveaux: prévention, valorisation, élimination. Différentes politiques en matière de produits, matières secondaires, déchets dangereux et technologies propres se développent.

Le troisième programme (de 1982 à 1986) se concentre sur les questions des transports transfrontaliers, des emballages de boissons et des boues d'épuration.
Le quatrième programme (de 1987 à 1992) propose la révision et l'actualisation des directives précédentes. Le débat sur l'incinération apparait et une règlementation

15 - Une liste des différentes directives est reprise en annexe de ce travail.
16 - Directive 75/442/CEE du Conseil du 15 juillet 1975.

propre aux piles et batteries usagées est mise sur pied à travers l'obligation de reprise, de valorisation et d'élimination de manière contrôlée[17].

Le cinquième programme (de 1992 à 2000) correspond à l'apparition du concept de développement durable qui influence les orientations prises jusqu'alors. La prévention à la source est réaffirmée comme priorité, mais sans propositions claires et concrètes. Une politique en matière de déchets d'emballage se dessine[18], les flux les plus problématiques sont identifiés et des objectifs chiffrés sont mis sur la table. Le contrôle de la traçabilité (dont mouvements transfrontaliers), de la gestion, et de l'élimination des déchets dangereux ainsi qu'une interdiction de mélange avec les autres fractions sont instaurés[19]. La mise en place d'un cadre de contrôle (prévention et réduction des impacts environnementaux) pour l'incinération[20] et la mise en décharge[21] est également réalisée.

Le sixième programme (de 2001 à 2010) voit apparaître le nouveau programme d'action “Environnement 2010: notre avenir, notre choix”. Ce programme définit quatre grands domaines d'action dont l'utilisation des ressources naturelles et la gestion des déchets en font partie: prévention, réduction, valorisation par le recyclage. Le programme fixe également des objectifs chiffrés telle que la réduction de 20% de la quantité finale de déchets pour 2010 et de 50% pour 2050. La Directive Cadre de 2008[22] définit la hiérarchie d'action à cinq niveaux (prévention, préparation en vue du réemploi, recyclage, autre valorisation dont énergétique, élimination) et encourage un système de collecte sélective pour un certain nombre de flux (papier, verre, métaux, plastiques…). L'objectif de recyclage est fixé à 50% pour les déchets municipaux et 70% pour les déchets de construction et démolition. Des exigences spécifiques pour les déchets dangereux et les huiles sont formulées, les mesures de prévention renforcées. La responsabilité élargie des producteurs (obligation de reprise en Belgique) est également abordée.

D'autres mesures concernant la problématique du déchet ont également été entreprises par l'UE comme le *catalogue des déchets* (CED-janvier 1994) ou le *livre blanc* (9 février 2000) fixant la responsabilité environnementale du producteur de déchet. Ce livre spécifie, selon le principe du pollueur payeur, que la personne créant des dommages à l'environnement par l'abandon de ses déchets doit payer une somme d'argent en contrepartie. Le “pollueur” doit alors être identifiable, le dommage

17 - Directive 91/157/CEE du Conseil du 18 mars 1991 abrogée plus tard par la Directive 2006/66/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008..

18 - Directive 94/62/CE du Parlement Européen et du Conseil du 20 décembre 1994.

19 - Directive 94/31/CE de la Commission du 27 juin 1994 et Convention de Bâle en 1997 (Décision 97/640/CE du Conseil du 22 septembre 1997).

20 - Directive 94/67/CE du Conseil du 16 décembre 1994 (déchets dangereux) et Directive 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000.

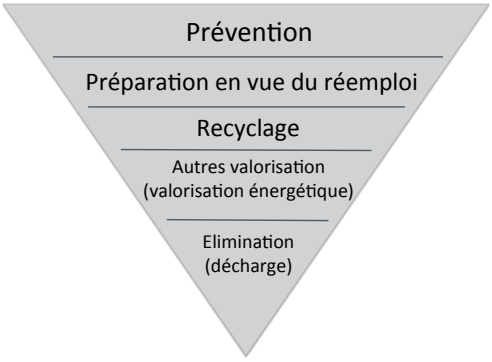
21 - Directive 99/31/CE du Conseil du 26 avril 1999.

22 - Directive Cadre 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008.

quantifiable et le lien entre le dommage et le responsable établi.

Le schéma ci-après représente la hiérarchie d'action proposée dans la Directivre Cadre 2008/98/CE.

Figure 2.2: Hiérarchie d'action



Source: Directive 2008/98/CE

Plus récemment, la Commission tend à rapprocher la problématique du déchet à celle de ressource: la notion d'économie circulaire se positionne parmi les objectifs de l'Union Européenne. Nous retrouvons les documents suivants dans la formulation des nouveaux objectifs européens:

- la « feuille de route pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources » a été communiquée en 2011[23]. Cette feuille de route définit les secteurs de l'alimentation, du logement et de la mobilité comme étant des secteurs clés pour leur programme d'action. Le document rappelle également les objectifs chiffrés pour 2020: une consommation d'énergie quasi nulle pour les bâtiments neufs, une politique de rénovation du parc immobilier au rythme de 2% par an (directive 2010/31/UE) et une efficacité des matériaux mis en oeuvre, un taux de recyclage de 70% des déchets non dangereux du secteur de la la C&D (directive 2008/98/CE).
- la communication de la Commission « sur les possibilités d'utilisation efficace des ressources dans le secteur de la construction » parue en juillet 2014[24] et qui porte sur les objectifs suivants: la réduction de l'utilisation des ressources dans les bâtiments, l'élaboration d'une approche européenne commune en matière d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments et un meilleur fonctionnement du marché des matériaux de construction recyclés.
- ou encore, moins spécifiquement lié au secteur de la construction, la commu-

23 - Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions du 20 septembre 2011

24 - Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions du 1er juillet 2014 (COM(2014) 445 final)

nication de la Commission « Vers une économie circulaire: programme zéro déchet pour l'Europe » de 2014 également[25].

2.3.2. En Région de Bruxelles-Capitale

Ordonnances et Arrêtés

Pour être appliquées en Région de Bruxelles-Capitale, les Directives Européennes citées précédemment sont transposées sous forme d'Ordonnances et d'Arrêtés que nous présenterons de manière synthétique ci-après, la liste de ces différents documents réglementaires étant repris en annexe de ce travail.

De manière globale, l'Ordonnance du 7 mars 1991 reprend les dispositions relatives à la prévention et la réduction des déchets en RBC. L'ordre de priorité d'action y est également énoncé: prévention à la source, réduction et élimination de leur nocivité pour l'environnement, valorisation avant élimination. L'Ordonnance spécifie aussi la responsabilité du détenteur des déchets quant à leur élimination sans nuisances pour la santé et l'environnement: les déchets doivent être déposés aux emplacements autorisés dans le respect des réglementations. Enfin, l'interdiction de procéder à la combustion à l'air libre ou comme combustible de chauffage des déchets de toute nature, à l'exception des déchets végétaux est notifiée.

Parallèlement à cette ordonnance, d'ordre plus général, apparaissent des réglementations spécifiques à certaines fractions de déchets ou à certains traitements. De cette façon, les **déchets dangereux** et plus particulièrement, les déchets d'amiante font l'objet de nombreux Arrêtés. L'objectif de ces derniers est de fixer un cadre de contrôle autour de la gestion de ces déchets problématiques pour l'environnement et la santé humaine. Les principales mesures sont l'interdiction de mélange (et donc de contamination) avec d'autres fractions de déchets et l'obligation de faire appel à des collecteurs et des éliminateurs reconnus et agréés par la Région. Une liste indicative des déchets dangereux a été fixée dans les Arrêtés du 9 mai 1996 et du 25 avril 2002. Dans le cas spécifique de l'amiante, les réglementations déterminent l'obligation de sous-traitance de la gestion de ces déchets[26] et les modalités prescriptives en matière de manutention, dépôt, emballage et transport de ce type de déchet[27]. Enfin, l'Arrêté du 10 avril 2008 traite de l'obligation d'enlever l'amiante contenu dans les bâtiments avant leur démolition. Il est décrit qu'un *inventaire amiante* est nécessaire pour tout chantier de démolition/rénovation de bâtiment de plus de 500 m^2 et datant d'avant 1998. Toute demande de permis d'environnement (PE) relative à un chantier d'enlèvement ou d'encapsulation d'amiante doit également fournir cet

25 - Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions du 2 juillet 2014 (COM(2014) 398 final)
26 - Arrêté du GRBC du 14 octobre 1993
27 - Arrêté du GRBC du 23 mai 2001

inventaire amiante, le permis sera traité par l'IBGE.

La **responsabilité élargie des producteurs** (REP) est également implémentée sous forme d'***obligation de reprise*** pour une liste déterminée de déchets. Cette obligation comprend la collecte des déchets et la valorisation ou l'élimination de ces derniers suivant les réglementations en vigueur et la priorité d'action[28]. Onze flux sont aujourd'hui concernés par l'obligation de reprise: les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), les véhicules hors d'usage (VHU), les huiles et graisses alimentaires et non alimentaires, les pneus usagés, les batteries au plomb, les piles et accumulateurs, les médicaments, les déchets photographiques, les emballages, papiers et cartons[29]. L'objectif de l'*obligation de reprise* est de responsabiliser les producteurs par rapport aux produits qu'ils mettent sur le marché puisqu'ils doivent en considérer les coûts de postconsommation (traitement du déchet) dès la conception de leur produit. La liste des organismes agréés pour la collecte et le recyclage des fractions particulières faisant l'objet d'une *obligation de reprise* est reprise ci-après. Nous remarquons qu'à l'heure actuelle, aucune obligation de reprise ne concerne les déchets de construction et démolition.

RECUPEL: DEEE
VALOFRIT: huiles et graisses alimentaires
FEBELAUTO: véhicules hors d'usage
RECYTYRE: vieux pneus
VALORLUB: huiles à usage non-alimentaires
FOTINI: déchets photographiques
BEBAT: piles, batteries et accumulateurs, lampes de poche
PHARMA.BE:
médicaments périmés / non utilisés
FOST PLUS: déchets d'emballage ménagers
VALIPAC:
déchets d'emballages non ménagers

Ensuite, il existe également des réglementations relatives à l'obligation de **recyclage des déchets de C&D**. Elles concernent essentiellement la fraction pierreuse des déchets produits. En effet, l'Arrêté du 16 mars 1995 spécifie que toute entreprise de C&D a l'obligation d'assurer le recyclage de la fraction pierreuse et sableuse de ses déchets. L'obligation de recyclage est donc à charge de l'entrepreneur. Cette dernière est exemptée s'il n'existe aucune installation de recyclage dans un rayon de 60 km. La Circulaire ministérielle du 9 mai 1995 vient préciser les conditions de réutilisation des fractions recyclées. Ces dernières sont considérées comme matières premières secondaires moyennant le respect de certaines conditions techniques. Les débris recyclés peuvent ainsi être réutilisés dans les travaux routiers, en terrassements, sous-fondations et fondations ou en revêtements de chaussées. Les matériaux recyclés concernés sont les concassés de débris de béton ou de maçonnerie, les concassés mixtes (béton et maçonnerie), les concassés de débris d'enrobés hydrocarbonés, les sables de criblage et de concassage de débris. Une autre Circulaire parue en septembre de la même année précise les conditions relatives à la réutilisation des débris

28 - Ordonnance du 18 mai 2000 modifiant l'Ordonnance du 7 mars 1991
29 - Arrêté de la RBC du 18 juillet 2002 ultérieurement modifié par les arrêtés du 3 juin 2004 et du 23 mars 2006

dans les travaux routiers et d'infrastructures[30]. Le taux de recyclage particulièrement élevé des déchets de C&D (>80%) s'expliquent donc par la mise en place d'une réglementation spécifique à la fraction inerte qui représente plus de 90% en poids des déchets de C&D produits en RBC. Les filières de recyclage se sont progressivement développées et constituent aujourd'hui une activité bien implantée dans notre pays, bien qu'aucun centre de recyclage ne soit présent en région bruxelloise. Nous pouvons donc remarquer le rôle essentiel des réglementations dans l'encouragement des filières de valorisation. Notons cependant qu'à l'heure actuelle, ces réglementations fixent un cadre relativement restrictif en ce qui concerne l'emploi des granulats recyclés puisqu'elles le limitent aux travaux d'infrastructure essentiellement, ce qui constitue au final une forme de *down-cycling*. Des adaptations sont donc à prévoir à l'avenir pour faire évoluer le cadre réglementaire vers de meilleures formes de recyclage.

Plans déchets

Outre les Ordonnances et Arrêtés, la politique menée par la région bruxelloise en matière de déchet est également traduite à travers le « plan déchet » qui est établi par Bruxelles Environnement et l'ABP (Agence régionale pour la Propreté). Le 1er plan déchet (1992 et 1997) a permis l'introduction des premières collectes sélectives, le 2e plan (1998 et 2002) a mis la priorité sur la prévention et le 3e (2003 et 2007) sur la dématérialisation et la réutilisation. Enfin le quatrième plan de prévention et de gestion des déchets, et actuellement dernier plan à ce jour, est adopté de 11 mars 2010 pour une durée indéterminée. Il se réfère à la Directive Cadre de 2008[31] qui instaure la hiérarchie d'action reprenant la prévention, la préparation au réemploi, le recyclage, la valorisation avant le recours à l'élimination.

La volonté du plan repose sur une approche intégrée par la minimisation des impacts de la construction sur l'environnement. Ce 4e plan définit notamment un objectif de recyclage des déchets de construction et démolition (C&D) de 90% (en poids) pour la RBC. En plus des actions de promotion du tri et du recyclage des déchets sur chantier, le plan prévoit d'autres actions en matière de prévention, de valorisation et de gestion. Concernant les dispositifs préventifs, le plan encourage la rénovation plutôt que la construction neuve, la conception d'espaces flexibles et adaptables dans le temps, un choix responsable des matériaux en considération de leur énergie grise, de leur aptitude au réemploi, de leur innocuité pour la santé et l'environnement, de leur pérennité [IBGE, 2010_A].

Les autres priorités sont l'étude du gisement des déchets de construction et démolition sur le territoire, l'obligation d'un inventaire déchet de démolition ainsi que le développement de filières de démolition sélective et de remise en circuit de maté-

30 - Circulaire du 22 septembre 1995

31 - Directive Cadre 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008

riaux récupérés par des entreprises d'économie sociale [IBGE, 2010_c].

Un premier rapport d'évaluation intermédiaire de ce plan a été élaboré en septembre 2012[32]. Il fait état de toutes les démarches, études et projets entrepris et financés par la Région (IBGE+ABP) dans le sens d'une meilleure prévention et gestion des déchets à l'échelle régionale. Citons entre autres: la réalisation du Brussels Waste Network (BWN - réseau de conseillers déchets pour les entreprises de la RBC), l'étude du gisement des déchets de C&D (Ceraa et Rotor), la proposition d'intégrer l'obligation d'un inventaire déchets (à l'instar de la Région Flamande) pour les projets de démolition de plus de 500 m^2 et nécessitant une déclaration environnementale, la mise à jour du Guide Bâtiment Durable ou le travail sur la mise en place d'un référentiel belge pour l'évaluation des performances des bâtiments (REF-B)...

2.3.3. Références et outils non réglementaires relatifs aux déchets

Qu'il s'agisse d'études, de recherches, de guides ou d'outils, depuis une dizaine d'années, les projets se multiplient quant à la question des déchets de construction et démolition. Nous aborderons ici les projets qui nous semblent les plus pertinents et/ou utiles au concepteur, la liste n'est donc pas exhaustive.

Les guides

La première chose à réaliser pour tout concepteur est de s'informer sur les tenants et aboutissants de la gestion des déchets sur chantier: comment réduire les déchets, comment les gérer et les intégrer dans la conception, quels sont les points d'attention, les éventuels permis à demander, etc. Évidemment, ces questions concernent aussi bien l'entrepreneur que l'architecte ou encore le maître d'ouvrage alors qu'actuellement, l'entrepreneur est en général la personne gérant réellement la question des déchets sur chantier. En matière d'informations, nous ne pouvons pas dire qu'il en manque: toute personne se posant des questions sur les déchets de C&D peut facilement trouver des données à ce sujet. Le premier « contact » à prendre avec les déchets de chantier serait donc de s'informer via les nombreux guides existants en la matière dont nous citons ici les plus importants et adaptés à la région:

Le guide de gestion des déchets de construction et de démolition de Bruxelles Environnement (RBC, 3e édition, 2009):
Ce guide est un outil indispensable pour tout acteur en rapport avec le secteur du déchet. Il reprend des informations sur la législation régionale en matière de déchet, sur la valorisation des différents types de déchets, leur mode d'élimination et les filières à suivre, une approche pratique de la gestion sur le chantier et une liste des

32 - Rapport disponibel sur http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/PlanDechets_Evaluation_Int_FR_Final.PDF

entreprises liées au secteur[33].

Le guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petits bâtiments (RBC):
Il s'agit d'un guide général sur l'écoconstruction développé par Bruxelles Environnement IBGE-BIM et mis à jour récemment. Quelques une des fiches abordent la problématique du matériau et par extension du déchet[34]:

- G MAT00 : Problématique et enjeux d'une utilisation durable de la matière. Cette fiche traite de l'importance d'un choix judicieux de matériaux, éléments et techniques de construction sur le plan du développement durable afin de limiter leurs impacts environnementaux et sanitaires et de préserver les ressources naturelles.
- G MAT01 : Le cycle de vie de la matière: analyse, sources d'information et outils d'aide au choix.
- G MAN02 : Chantier: mettre en place un chantier respectueux afin d'en limiter les impacts en termes de nuisances et de ressources ainsi que d'en assurer une gestion optimale et durable (disponible courant 2015).
- G MAN03 : Gestion des déchets de chantier et faisant référence à l'infofiche précédente MAT12: Recycler les matériaux et déchets si possible in situ.
- G MAN06: Déchets d'exploitation et faisant référence à l'infofiche précédente MAT01: Concevoir des dispositifs didactiques/ergonomiques de gestion des déchets pour le tri des déchets ménagers.

Le guide MARCO - Management des Risques environnementaux dans le secteur de la Construction (RW):
Datant de 2004, ce guide se base sur la réglementation des déchets en Région Wallone. Il s'agit d'un outil relativement complet présentant diverses thématiques telles que les demandes de permis et d'autorisation, la prévention, la gestion des déchets banaux et dangereux (identification juridique et définition technique, transports, responsabilités, coûts,…), les règles de management environnemental et les incitants financiers existants. Parallèlement au guide un logiciel a été développé pour réaliser un MÉtré des DÉchets de COnstruction : MEDECO[35].

Guide du réemploi (RBC, RW)[36]:
Il s'agit d'un projet commun à la Région de Bruxelles-Capitale et la Région Wallone pour l'Alliance Emploi-Environnement et mené par le partenariat entre l'ASBL Ressources, la Confédération Construction Wallonie-Bruxelles et le CIFFUL. L'objectif de ce guide paru fin 2013 est de sensibiliser les acteurs de la construction au réemploi et au recyclage. Le guide fait plus largement partie d'un projet encourageant le déve-

33 - Données disponibles sur le site www.environnement.brussels
34 - Données disponibles sur le site http://guidebatimentdurable.bruxellesenvironnement.be/
35 - Données disponibles sur le site www.marco-construction.be
36 - Guide disponible sur http://www.cifful.ulg.ac.be/index.php/reemploi-des-materiaux

loppement de la filière de réutilisation et de recyclage des matériaux de construction. Étaient compris dans le cadre du projet, l'accompagnement de projets pilotes, la création d'un réseau d'experts, la création du guide pratique et la communication des résultats. L'avantage de ce guide pratique est qu'il reprend chacune des étapes du projet en fournissant les informations y étant relatives et des liens vers des exemples concrets. Un inventaire de projets pilotes est également repris dans la seconde partie du guide. Il s'agit donc de conseils de pratiques à encourager à tous les stades du projet alimentés d'exemples concrets, rendant le guide plus « accessible » et plus compréhensible.

Les démarches volontaires et incitants financiers

Dans un deuxième temps, les démarches volontaires permettent de diffuser plus largement une sensibilisation à la problématique des déchets. La mise en place de forme de « concours » permet aux acteurs de s'engager dans de nouvelles pratiques sans le caractère « obligatoire » ou pénalisant de certaines réglementations. Dans le cas des BATEX(BÂtiments EXemplaires) par exemple, cet appel à projet a considérablement influencé l'expansion de projets « durables » passifs et basse énergie jusqu'alors absents sur le territoire régional. Nous pensons donc que ce type de concours peut jouer un rôle important dans l'encouragement de nouvelles pratiques. Nous avons repris ci-dessous quelques exemples d'incitants concernant de près ou de loin une meilleure gestion des déchets de C&D.

Programme d'action « Quartiers Durables » (depuis 2008):
Il s'agit d'un appel à projet visant l'incitation de nouveaux quartiers ou quartiers existants dans une démarche dynamique durable. Les objectifs sont la préservation des ressources naturelles (meilleure gestion de l'eau, l'énergie, l'air et le sol), la rationalisation des consommations (produits locaux et équitables, mise en commun, gaspillage proscrit...) et la diminution de la production de déchets.

Appel à projet « Bâtiment Exemplaire » (depuis 2007):
Cet appel à projet lancé en 2007 par la Région de Bruxelles-Capitale avait pour objectif initial de promouvoir la création de projets exemplaires au point de vue des performances énergétiques et environnementales (neuf et rénovation confondus) et ce, dans un budget raisonnable. Ce concours a permis le lancement de nombreux bâtiments passifs et basse énergie, ayant pour conséquence de stimuler le marché de la demande concernant ce type d'intervention. Au total, six appels à projets ont été lancés entre 2007 et 2013 représentant un budget total de 33 millions d'euros pour la Région. La superficie de bâtiments passifs inexistante en 2007 est estimée à près de 350.000 m^2 d'ici 2017[37]. C'est sur cet appel à projet que nous nous baserons pour les analyses proposées dans la suite de cette recherche.

37 - Informations sur www.environnement.brussels

Appel à projet « Brussels Waste Network »[38]:
Il s'agit d'un appel à projets destiné aux entreprises bruxelloises et développé dans le but d'encourager les projets innovants dans le développement du potentiel de la RBC en termes d'économie circulaire et d'économie de ressources. Le troisième appel à projet vient d'être lancé en 2015.

Le challenge Opalis[39]:
Le challenge Opalis est un appel à projets qui vient d'être lancé et qui vise à familiariser les acteurs du secteur (concepteurs, particuliers, artisans) avec les matériaux de réemploi par l'intégration dans un projet d'une série de matériaux différents prédéfinis (multiplex, luminaires, pierre bleue, pavés, briques).

Les outils

Outre les guides d'information, de sensibilisation, et les appels à projets, il est nécessaire que les acteurs puissent bénéficier d'outils concrets, tels que des documents types (exemple de certains cahiers des charges) permettant de « faciliter » l'utilisation et la compréhension entre acteurs, ou la création de nouveaux liens et plateforme d'échange, ou encore des systèmes d'évaluation de leur performance. Nous parlerons ici brièvement de quelques outils ou piste d'outils pouvant directement influencer la production et la gestion des déchets de C&D.

Inventaire déchets en phase de pré-démolition et plan de gestion des déchets:
Il s'agit d'une obligation du VLAREA (Règlement flamand pour la prévention et la gestion des déchets) imposant la réalisation d'un inventaire déchets pour les bâtiments non résidentiels de plus de 1000m³ (en Région Flamande). La mise en place d'un *inventaire déchet* présente différents avantages: une plus grande traçabilité des déchets, l'évaluation plus précise des frais engendrés par la démolition, une certaine garantie de recyclage, la détermination de la responsabilité de chaque acteur. L'inventaire peut être comparé à un métré plus ou moins précis en fonction de la dangerosité du matériau. Il est généralement réalisé par un expert indépendant bien que ce type d'acteur ne soit pas désigné comme obligatoire. Cependant, certaines lacunes et certains manques de précisions ont été identifiés comme la définition de la personne (ou expert) habilitée à réaliser cet inventaire ou encore le manque de suivi après réalisation de l'inventaire (traçabilité). En Région de Bruxelles-Capitale, l'*inventaire déchet* n'a pas encore été rendu obligatoire, mais il est probable que cette obligation devienne effective dans les années à venir, étant donné qu'il s'agit d'une recommandation et d'un objectif défini par le 4e plan déchet de la Région. L'*inventaire déchet* devrait en toute logique se poursuivre par l'élaboration d'un *plan de gestion des déchets.* Ce plan, mis à jour tout au long du chantier (en général par l'entrepreneur), reprend le suivi de l'évacuation des déchets du chantier. Il reprend

38 - www.brusselswastenetwork.eu
39 - http://opalis.be/fr/pages/challenge

entre autres la nature des déchets et leur code eural, les quantités évacuées, le système de collecte utilisé (transport et contenant), la destination.

Projet « Activation des filières » (2012) et naissance d'Opalis:
Le projet réalisé dans le cadre de l'Alliance Emploi-Environnement a été mené par le consortium Rotor, FEBRAP et Groupe One. L'objectif est d'activer la filière du réemploi en RBC par la rencontre et un meilleur équilibre entre offre et demande. Le projet se base sur l'établissement d'un annuaire à jour des revendeurs de matériaux de construction de seconde main actifs en RBC,[40] mais également sur le lancement de divers projets pilotes avec une communication active des résultats obtenus. Le projet a entre autres donné naissance à la plateforme Opalis. Il s'agit d'un inventaire online reprenant les revendeurs professionnels de matériaux de construction de réemploi selon le type de matériaux vendus et leur « spécialité » éventuelle. L'objectif est d'encourager et faciliter les pratiques de réemploi par la création d'un lien d'information et d'échange, jusqu'alors inexistant, entre les filières de réemploi et les particuliers, concepteurs, entrepreneur ou artisans.

Le référentiel 'Bâtiments Durables' REF-B (RBC, RW, RF) à venir[41]:
Il s'agit d'un instrument volontaire développé conjointement par les trois régions pour s'adapter au marché belge. Le référentiel vise un système de reconnaissance de la qualité d'un bâtiment durable (certification, labellisation, auto-évaluation). Il comprend différents critères d'évaluation, dont des critères propres aux thématiques « matière » et « déchets ». Le référentiel REF-B était annoncé pour 2013. Il n'a, à l'heure actuelle, pas encore été rendu disponible.

Les études et recherches

Nous avons vu que de nombreux guides, incitants, et outils sont développés au niveau national et régional pour améliorer et inciter les acteurs à une meilleure gestion des déchets. À une autre échelle, il est important de faire remarquer que la réalisation d'études et de recherches est essentielle pour « alimenter » notre connaissance de la problématique déchet et envisager des pistes de valorisation optimale. Les quelques exemples repris ici concernent des études financées par la Région ou l'Europe. Ces études peuvent être menées à différents niveaux: elles peuvent concerner des fractions ou des filières particulières, tout comme elles peuvent se référer aux modes de fonctionnement et de pratiques ou encore elles veulent répondre à un manque de données. Contrairement aux guides, incitants et outils précédemment présentés, les recherches menées ne s'adressent en général pas directement aux concepteurs, MO et entrepreneurs, mais plutôt aux autorités publiques et filières de traitement concernées.

40 - Cette liste peut être consultée sur le site www.opalis.be.
41 - Informations présentées lors de la formation 'Bâtiment durable: module déchets de construction' organisée par l'IBGE, session printemps 2012.

Au niveau régional

Étude des opportunités de la filière des matériaux de réemploi dans des projets d'économie sociale (2009):
Cette étude a été réalisée pour Bruxelles Environnement IBGE-BIM et le cabinet fédéral de la ministre Arena par le consortium des ASBL Rotor et Ressources. Cette étude a été menée dans le but d'évaluer les potentialités et les opportunités du marché du réemploi de matériaux de construction de seconde main pour le développement d'entreprises d'économie sociale.

Étude du gisement des déchets de construction et de démolition en Région de Bruxelles-Capitale (2012):
Il s'agit d'une étude réalisée pour Bruxelles Environnement IBGE-BIM par le consortium des ASBL Rotor et Ceraa. L'étude se penche sur l'analyse des flux de déchets de C&D de la région bruxelloise en considérant deux sources de données distinctes: celles de la production sur site (en amont) et celle des quantités traitées en aval de la chaine par l'industrie de déchets (centre de regroupement et de tri). Une analyse critique des pratiques de gestion des déchets de C&D est également réalisée d'un point de vue économique, social et environnemental.

Ces études tentent d'apporter des réponses par rapport à une situation spécifique à la Region et à sa politique vis-à-vis du déchet de C&D. La seconde étude était initialement lancée dans le but de combler le manque de données existantes en matière de gisement et de flux de déchet alors que la première s'inscrit plus spécifiquement dans l'encouragement de nouvelles filières de valorisation installées sur le territoire régional. La RBC dépend en effet en grande partie des autres régions pour le traitement de ses déchets. Notons que dans ce cadre, l'Alliance Emploi-Environnement joue également un rôle important en terme de levier d'action.

Au niveau européen

Etude APPRICOD (Assessing the Potential of Plastics Recycling in the Construction and Demolition Activities) (2006):
Il s'agit d'un programme européen relatif aux déchets plastiques générés par les activités de construction et démolition. L'objectif de l'étude est de déterminer les options optimales de tri à la source en vue du recyclage.

Étude IRMA (Integrated decontamination and Rehabilitation of buildings, structure and MAterials in urban renewal) (2007):
Ce projet européen développe des recommandations en matière de déchets dangereux ou toxiques lors de chantiers de démolition par l'identification et la séparation à la source. Ces recommandations ont été mises en pratique dans le cadre du chantier de démolition des anciens bâtiments de l'OTAN à Evere.

Projet IRCOW (Innovative Strategies for High-grade Material Recovery from Construction & Demolition Waste) (2014):
Le projet Ircow est un projet financé par le 7e programme de la Communauté Européenne pour des activités de recherche, de développement technologique et de démonstration. Il vise le développement et la validation de solutions optimisées de valorisation par le réemploi et de nouvelles technologies de recyclage (même si la question du recyclage y est plus approfondie que le réemploi). Certaines fractions spécifiques (béton cellulaire, gypse...) sont étudiées en terme d'*up-cycling*. Il s'agit d'une étude particulièrement intéressante quant à la question des perspectives de recyclage envisageable, même si le nombre de fractions étudiées est limité.

De manière globale, les recherches financées au niveau européen traitent principalement de flux spécifiques et de leur potentiel de recyclage. La question de la valorisation par le réemploi y est peu abordée (contrairement aux études en RBC), peut-être parce qu'elle relève plus d'une question de gestion de ressources locales, mais surtout que les matériaux de réemploi semblent circuler en dehors du circuit économique classique extrêmement normalisé des matériaux de construction (sans oublié le poids des lobbies).

2.4. IDENTIFICATION-CLASSIFICATION

Améliorer la gestion des déchets de C&D répond à des enjeux environnementaux divers. Il s'agit entre autres de répondre aux problèmes de raréfaction des ressources naturelles en évitant les circuits de production et de consommation ouverts (« du berceau à la tombe ») pour privilégier au contraire des cycles plus fermés. Une gestion optimisée des déchets viserait également à réduire les nuisances des décharges existantes et limiter leur étalement ainsi que réduire les nuisances provenant des procédés d'incinération (pollutions par particules). Enfin, un des enjeux majeurs concerne une réduction à la source des quantités de déchets produits par les modes constructifs et les principes d'exploitation des bâtiments [IBGE, 2010_B].

Selon une étude réalisée en 2006 par RDC Environnement, le secteur de la construction et démolition représenterait plus du tiers des déchets non ménagers générés par la Région de Bruxelles-Capitale soit 36% ou près de 628.000 t/an[42]. Cette quantité se répartit principalement entre les déchets de maçonnerie (45%), les déchets de béton (38%), d'asphalte (10%), de céramique (3%) et de bois (2%), les autres fractions représentant les 2% restants [IBGE, 2006]. Il existe donc une forte proportion d'inertes parmi ces déchets de C&D. En Belgique, la part des déchets inertes provenant du secteur de la construction en 2004 représentait d'ailleurs 16 469 409 tonnes.[43]

42 - Il s'agit ici d'une estimation qui date de 2006, il est probable que la production actuelle ait augmenté depuis.
43 - source: http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/environnement/dechets/production/index.jsp

La pratique la plus courante sur chantier consiste à séparer les déchets inertes (parce qu'il y a obligation de recyclage pour cette fraction) des autres fractions qui seront en général mélangées avant d'être triées en centre de tri. Or, le fait de mélanger ces autres fractions réduit les opportunités de réemploi et de recyclage. En outre, il est important de noter que la nature des déchets varie selon leur origine à savoir, s'il s'agit de travaux de démolition, de rénovation ou de construction neuve, mais aussi selon l'âge du bâtiment, sa situation géographique, etc. Le déchet de construction et démolition représente donc un secteur clé[44] pour entreprendre des actions tendant vers une amélioration des pratiques de gestion, de tri, mais surtout de réduction de la production à la source. Mais avant d'encourager un tri à la source, il est nécessaire de pouvoir identifier les fractions de déchets générées sur chantier et la manière dont ces fractions sont classifiées et reconnues aujourd'hui. C'est donc l'objectif poursuivi par le présent chapitre.

2.4.1. Identification des fractions

Déchets inertes

Les déchets de construction et démolition se composent d'environ 95% de débris inertes. Ce type de déchets reprend différentes catégories de matières tels que les débris de béton (armé, non armé), les débris de maçonnerie (briquaillons), les débris mixtes (béton et maçonnerie), les pierres, les terres cuites et tuiles, les céramiques, les mortiers (en général assimilés aux éléments qu'ils solidarisent), les asphaltes et produits bitumineux (principalement concernant les infrastructures routières). Il s'agit de matières imputrescibles et ininflammables ne subissant aucune modification chimique, physique ou biologique pouvant entraîner une pollution environnementale ou des conséquences sanitaires.

La filière de traitement principale pour les déchets inertes concerne le recyclage, une faible part est envoyée vers la décharge et une autre (difficilement quantifiable) est réemployée.

Le recyclage des inertes représente une filière particulièrement développée en Belgique. Le procédé consiste en un concassage des débris qui sont alors réduits en granulats secondaires. Les prix appliqués par les installations de concassage pour le déchargement des déchets inertes sont dégressifs en fonction de la pureté de la fraction. Ainsi pour des déchets de béton propre et non armé l'opération est gratuite alors que pour les déchets de maçonnerie mixte le prix peut s'élever à 20 € la tonne[45].

44 - Il est d'ailleurs défini comme tel dans la "feuille de route pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources" (2011).

45 - Un tableau reprenant les prix de recyclage et de mise en décharge est repris en annexe de cet ouvrage et figure également dans le chapitre sur les filières.

Les débris goudronneux, béton cellulaire et matériaux à base de gypse sont les déchets les plus coûteux (de 65 à 200 €/tonne) puisqu'ils ne sont pas recyclés dans les centres de concassage au même titre que les bétons ou maçonneries. Ces tarifs dégressifs combinés à des prix de mise en décharge de plus en plus conséquents devraient avoir pour conséquence un meilleur tri des déchets inertes, de préférence à la source, c'est-à-dire sur chantier. Le degré d'impureté autorisé pour le concassage est en général de l'ordre de 10%. Les granulats recyclés sont principalement utilisés sous la forme de sous-couches pour les travaux routiers et d'infrastructures. L'utilisation de ceux-ci dans la construction de bâtiments est beaucoup plus rare [IBGE, 2009]. En général, les déchets inertes peuvent être réutilisés et recyclés (*down-cycling*) in situ comme remblais à condition qu'ils ne contiennent aucun agent polluant, matériaux putrescibles ou inflammables et qu'ils proviennent de bâtiments à caractère d'habitation. Auquel cas, un permis d'environnement de classe 1A est nécessaire.

Dans certains cas spécifiques, les déchets inertes peuvent également être récupérés pour le réemploi: briques anciennes, pierres de taille, pavés, tuiles en terre cuite, revêtements de sol, plaques de marbre ou pierre bleue... Cette réutilisation (préférentiellement in situ) peut représenter une économie pour le maître d'ouvrage, elle représente en tout cas un avantage au niveau environnemental puisque le réemploi substitue des matières sinon devenues déchets à la fabrication de matériaux neufs (processus énergivore et polluant). La raison du réemploi de certains matériaux peut résider dans leur valeur historique et patrimoniale permettant leur revente à bon prix.

Déchets de bois

Le bois de construction et démolition se retrouve sous diverses formes en tant que déchets: poutres, vieilles portes, châssis de fenêtre, revêtement de sol, plancher, gîtes, chevrons, panneaux, etc. Bien qu'elle ne représente que quelques pourcents, il s'agit de la fraction principale rencontrée dans les déchets de chantier après les débris inertes [IBGE, 2009]. Les déchets de bois sont subdivisés en trois catégories:

- les bois de classe A: les bois non traité et non dangereux
- les bois de classe B: les bois traités, mais non dangereux
- les bois de classe C: les bois dangereux, imprégnés

Les bois traités correspondent à des bois ayant fait l'objet d'un ajout d'adjuvants. Ces adjuvants concernent aussi bien les colles (utilisées pour la fabrication des panneaux) que les produits de traitement et de préservation ou les vernis et peinture y étant appliqués. Le traitement réservé à ces déchets (recyclage, incinération, décharge ou réemploi) dépendra du type d'éléments bois et de la classe dans laquelle ils se situent. Le tableau ci-dessous reprend les filières de traitement réservées aux déchets de bois en fonction de leur classement.

Tableau 2.1: Classes des bois et filières de traitement

Classes	Description	Débouchés
Classe A	non traité, non dangereux	
	Bois massif	Réutilisation Recyclage - Industrie du panneaux Sciures (4-8 ou 0-3 mm) Fours de cimenterie
	Palettes, planches et poutres propres non contaminées	
	Emballages en bois	
Classe B	traité, non dangereux	
	Multiplex	Réutilisation Recyclage - Industrie du panneaux Unités de chauffe industrielles (Mise en décharge)
	Panneaux de fibres	
	Panneaux avec ou sans mélaminé	
	Bois de démolition	
	Tables, chaises, fauteuils,armoires	
	Portes et fenêtres (sans verre)	
Classe C	dangereux, imprégnés	
	Panneaux durs de fibre de bois	Unités de chauffe industrielles (Italie)
	Panneaux tendres de fibres de bois	
	Panneaux MDF	

Source: [IBGE, 2009]
sur base des dossiers du CSTC – cahier n°3 – 3e trimestre 2005

Une grande majorité des bois de construction subit actuellement un traitement (fongicide, insecticide...). Il est possible d'éviter ce traitement par un choix judicieux faisant correspondre classe de risque (classe d'emploi) et classe de durabilité. Mais les essences concernées sont souvent plus chères. Les bois de classe C (dangereux) sont d'office incinérés alors que le choix de traitement pour les autres classes est plus varié. Néanmoins, selon une étude de l'OVAM [OVAM, 2011_A], 95% des bois de construction traités seraient également incinérés contre 20% pour les bois non traités qui peuvent être utilisés comme bois de chauffage (contrairement aux bois traités). Le recyclage est actuellement réservé aux bois non traités (75%). Les déchets de bois recyclés sont alors préalablement broyés avant d'être utilisés dans l'industrie du panneau. En matière de réutilisation d'éléments en bois sur les chantiers, nous retrouvons principalement les portes et châssis anciens, les lambris, les escaliers et les poutres en bon état. Les essences coûteuses comme le chêne et le hêtre sont prisées. Les palettes en bois sont également récupérées, restaurées et réutilisées (primes Val-i-Pac)[46] quand elles ne sont pas recyclées dans l'industrie du panneau. Quelle que soit la classe considérée, une faible proportion est éliminée en décharge (5%). En effet, seuls les déchets ultimes sont admis en décharge aujourd'hui. Or, le

46 - Cette récupération fait référence à l'obligation de reprise des emballages de matériaux portée par les arrêtés du 18 juillet 2002, 3 juin 2004 et 23 mars 2006 (RBC).

bois présente un pouvoir calorifique certain qui lui confère une primauté d'utilisation pour la valorisation énergétique.

Déchets métalliques:

La valeur marchande importante des déchets métalliques justifie leur tri presque systématique sur les chantiers, quand ils ne disparaissent pas avant ou en cours de travaux (filières « informelles »). Il s'agit en effet d'une des seules fractions de déchet constituant un gain financier plutôt qu'une charge financière (même si la majorité des prix fluctue en fonction des spéculations). En 2007, les prix de revente de ces déchets étaient estimés de 120 € la tonne pour le fer jusqu'à plus de 3000 € la tonne pour le cuivre [IBGE, 2009][47]. Nous comprenons mieux pourquoi ce type de déchet est si « prisé » et récupéré.

Le traitement privilégié pour les déchets de ce type concerne le recyclage avec 95% [OVAM, 2011_A]. Les métaux présentent en effet une *recyclabilité* particulièrement intéressante, et certains sont même potentiellement recyclables à 100% et à l'infini. Cependant, quand il est possible, le réemploi devrait être la filière encouragée. En effet, il apparaît plus avantageux d'un point de vue environnemental que le recyclage qui constitue un traitement particulièrement énergivore puisque le métal doit être broyé puis fondu à des températures extrêmement élevées. Néanmoins, le réemploi de poutrelles métalliques par exemple ne s'avère pas toujours aisé puisqu'il nécessite d'avoir des « garanties » sur les performances en matière de stabilité et résistances.

Concernant la collecte, les déchets métalliques sont en général enlevés gratuitement ou à un prix relativement faible (en fonction de la valeur et de la quantité de métal enlevé). Il est également financièrement plus intéressant de séparer les métaux ferreux des non-ferreux ayant plus de valeur sur le marché.

Déchets de verre

Il s'agit d'une fraction faiblement représentée dans les déchets de C&D. Principalement présent sous forme de vitrage (fenêtre), le verre est soit évacué avec l'élément fenêtre en entier, soit il est brisé et atterrit le plus régulièrement dans le conteneur mélange ou éventuellement inerte[48].

Trié à la source et sans contamination du chantier, le verre peut être récupéré séparément en vue de son recyclage pour la production d'autres produits en verre ou de laine de verre. Cependant, les exigences en matière d'impuretés sont importantes, ce qui ne correspond pas toujours à la réalité du chantier. Pour faciliter le recyclage,

47 - Les prix sont également donnés en fonction des impuretés présentes dans la ferraille.

48 - Bien que sa nature soit inerte, le verre n'est pourtant pas admis dans le conteneur d'inertes

la collecte sélective sera réalisée préférentiellement en trois fractions principales:
- verre plat transparent non armé (recette sur la reprise)
- verre plat transparent armé (reprise gratuite)
- verre coloré, teinté ou sale, armé ou non (reprise gratuite)
- les verres creux et feuilleté sont également acceptés pour le recyclage

Néanmoins, certains types de verres comme les verres isolants et réfléchissants sont impossibles à recycler, ils sont donc refusés.

Une autre filière à considérer concerne le réemploi. À partir du moment où le verre est conservé dans l'élément « fenêtre » et que le châssis est en bon état, il existe une possibilité de l'acheminer vers des filières professionnelles de réemploi[49].

Le verre étant un déchet incombustible, si un réemploi ou un recyclage n'est pas envisageable, il sera alors dirigé vers les décharges [IBGE, 2009].

Déchets plastiques

La définition étymologique du terme « plastique » concerne le caractère de certaines matières à être moulées ou formées. L'utilisation des matières plastiques s'est réellement développée vers la fin du XIXe siècle avec la mise au point de plastiques synthétiques. Suite à la Seconde Guerre mondiale, le besoin urgent en matière première pousse la recherche à développer de nouveaux matériaux de substitution aux matières naturelles en pénurie. Aujourd'hui, les variétés de matières plastiques sont extrêmement larges et ont pris place dans notre vie de tous les jours. Leur caractère imputrescible et non biodégradable ainsi que les quantités importantes utilisées et jetées quotidiennement en font des déchets particulièrement problématiques à gérer: les déchets plastiques, des sacs principalement, constituent par exemple un véritable problème environnemental en milieu marin et sur les côtes (contamination de la faune et de la flore et indirectement de l'homme qui s'en nourrit)[50].

Il existe deux catégories de plastiques:
- les thermoplastiques (PE, PP, PET, PVC, PS...) remalléables sous l'effet de la chaleur et plus facilement recyclables
- les thermodurcissables (caoutchouc, bakélite, PUR, silicones) durcissant sous l'effet de la chaleur et pouvant brûler ensuite.

Les formes les plus courantes dans le secteur de la construction sont [IBGE, 2009]:
- le PVC (60% de la consommation de plastique du secteur de la construction)pour les châssis de fenêtre, volets, revêtements de murs et de sol, canalisations...
- le polyéthylène (PE) pour les canalisations

49 - Revendeurs professionnels repris sur le site d'Opalis (www.opalis.be)
50 - Informations sur www.greenpeace.org

- le PUR et le polystyrène expansé (EPS) ou extrudé (XPS) pour l'isolation

Actuellement, une grande partie des déchets plastiques de C&D finit à la décharge ou à l'incinérateur alors que nombre d'entre eux sont recyclables, voire réutilisables, dans certains cas dans le bâtiment [IBGE, 2009]. Le projet APPRICOD, cité précédemment, a justement été développé pour répondre en partie à cette problématique puisqu'il traite des possibilités de gestion et de recyclage des matières plastiques de construction. Deux exemples de filières de gestion et collecte des déchets plastiques de construction peuvent être cités: *Recovinyl* octroyant des incitants pour le recyclage du PVC, et *Clean Site System* récoltant les déchets d'emballages (sacs de collecte spéciaux à remettre au détaillant) ou encore des systèmes de tri (dans les parcs à conteneurs) pour le polystyrène expansé (EPS) non coloré et non souillé. Les possibilités de recyclage sont diverses, mais en réalité peu connues ou inadaptées à la réalité du chantier: les matières plastiques provenant d'une démolition ou d'une rénovation sont en général souillées, leur nettoyage avant traitement représente une étape coûteuse et parfois difficile. À part pour les chutes de certains types de matières plastiques et les emballages (voire les châssis PVC), les possibilités de recyclage des déchets plastiques de construction sont restreintes. Ayant un pouvoir calorifique élevé, l'incinération contrôlée de ce type de déchets est privilégiée à la mise en décharge.

Déchets de plâtre

Les déchets de plâtre peuvent provenir de différents matériaux: les blocs silicocalcaires, le plafonnage les plaques de carton-plâtre ou en fibroplâtre. Le plus souvent, ces déchets terminent dans le conteneur mélange où ils seront « contaminés » par les autres matériaux. Ne pouvant être incinérés, la finalité de ce type de déchet jusqu'il y a quelques années la mise en décharge. En 2008 cependant, une filière de recyclage (exportation de la société New West Gypsum Recycling active depuis 1980 aux États-Unis) s'installe à Kallo, dans la région d'Anvers, sur le site de production de l'usine Gyproc. À l'heure actuelle, une part importante des déchets de plâtre apportée sur le site provient des gestionnaires de déchets (centre de regroupement et de tri) et d'entreprises de démolition. Néanmoins, un certain taux de pureté des déchets apportés est exigé. Dans ce contexte, il serait avantageux qu'un tri sélectif soit réalisé le plus en amont possible sur chantier, et de ne pas attendre l'arrivée en centre de tri pour différencier ce type de déchets des autres fractions. Le prix de « déversage » varie en fonction du degré d'impureté. Jusqu'alors, les déchets de plâtre étaient essentiellement acheminés jusqu'en Allemagne pour être mis en décharge. Le coût de l'opération est nettement plus important (transport et mise en décharge). De plus, le gouvernement belge a introduit une taxe à l'exportation des déchets de plâtre vers l'Allemagne afin de favoriser la filière du recyclage en Belgique. Il est à présent plus avantageux pour de nombreuses entreprises de destiner leurs déchets de plâtre au

recyclage à Kallo, plutôt qu'aux décharges allemandes[51] .

Déchets d'isolants

La crise pétrolière de 1973 a eu pour effet « d'engendrer » une nouvelle famille de matériaux: les isolants. D'abord placés dans les murs creux avec des épaisseurs de quelques centimètres (de 3 à 6 cm), la mise en place de nouveaux objectifs énergétiques et d'une réglementation sur la performance énergétique des bâtiments ont eu pour effet d'augmenter considérablement leur utilisation et leurs épaisseurs: elles sont actuellement plutôt de l'ordre de 15 à parfois 25 cm en fonction du matériau, de sa performance thermique et de la performance visée pour la paroi. Leurs natures sont diverses (naturels, synthétiques, organiques, inorganiques) ce qui explique la difficulté de dégager des tendances claires en matière de traitement en fin de vie. En outre, ce type de matériaux ne constitue pas encore une masse importante de déchets, mais risque bien de le devenir à l'avenir.

Actuellement, les déchets d'isolants sont généralement déposés dans le conteneur mélange et terminent soit à l'incinération (s'ils sont incinérables) soit à la décharge. Le recyclage de la plupart des matériaux isolants est souvent décrit comme possible, mais n'est réellement pratiqué que pour les chutes de production. Les taux de pureté exigés sont très élevés et donc peu compatibles avec les déchets provenant de chantier. De plus, les quantités de déchets produites sont insuffisantes pour justifier à l'heure actuelle la création de filières de recyclage pour les déchets de C&D. Il existe néanmoins quelques applications de collecte des chutes de mise en oeuvre (laine de verre, EPS) et des projets en étude chez les fabricants d'isolants (Knauff pour la laine de roche, projet en étude chez Isover pour la laine de verre, quelques ébauches pour le PUR).

Concernant la laine de verre[52] en particulier, les volumes de déchets (chutes) actuellement récupérés et recyclés sont infimes en comparaison des quantités produites (inférieur à 1%). Le problème principal auquel se heurte le recyclage de la laine de verre est que celle-ci doit être parfaitement propre pour être recyclée. Les fours existants ne tolèrent pas la moindre impureté qui risquerait d'enrayer fortement le processus de fabrication et de générer, de ce fait, des pertes importantes au niveau de la production. En d'autres termes, la laine de verre provenant de la démolition est à l'heure actuelle difficilement récupérable pour le recyclage. Seules les chutes de production et, éventuellement de construction (lorsque ces dernières sont suffisamment propres) peuvent être réinjectées dans le processus de fabrication. Sur chantier, si les chutes ne sont pas directement séparées dès leur production, il y a de fortes chances que ces dernières soient souillées et donc deviennent impropres au

51 - Données récoltées lors d'une visite de l'usine de NWGR, Kallo, Belgique, juillet 2010

52 - La laine de verre est un isolant couramment usité avant l'arrivée de nouveaux matériaux isolants sur le marché ces dernières années (fibre de bois, cellulose, EPS en système ETICS, ...)

recyclage[53].

Ces dernières années, les fabricants d'isolants ont bénéficié d'une forte expansion de leur marché avec l'arrivée de la nécessité de renforcer l'isolation des bâtiments et la mise en place de nombreux incitants financiers liés à cette cause. Vu la relative « nouveauté » de ce matériau de construction (comparativement à la brique, le bois ou le métal), la production de déchet de ce type est encore réduite à ce jour. Les producteurs d'isolants n'ont dès lors pas forcément eu d'impératifs concernant l'obligation de recyclage de leur matériau. Les déchets d'isolants risquent cependant bien de constituer une partie des déchets de demain, la responsabilisation des fabricants joue ici un rôle important.

Déchets dangereux:

Les déchets dangereux font l'objet d'un cadre réglementaire relativement précis. Ils doivent obligatoirement être séparés des autres fractions et faire l'objet d'un tri sélectif parfois particulièrement poussé (exemple de l'amiante). Leur évacuation doit être assurée par un collecteur agréé reconnu et répertorié au niveau régional. L'arrêté du GRBC du 25 avril 2002 fixe une liste indicative des déchets dangereux. La rubrique 17 y vise spécifiquement les déchets de construction et démolition. En matière de traitement en fin de vie, les déchets dangereux sont soit dans certains cas incinérés (avec traitement des fumées), soit mis en décharge dans des centres d'enfouissement techniques spécifiques. La particularité de la problématique des déchets dangereux déjà bien réglementée ne sera pas traitée dans cette recherche.

Les autres déchets

Les déchets de **papiers et cartons** sont relativement rares dans le secteur de la C&D., ils concernent surtout les emballages de matériaux. Dans de nombreux cas, ces emballages contiennent une couche protectrice en plastique ou en aluminium rendant difficile voir impossible leur recyclage. Les impuretés présentes sur chantier génèrent également des papiers/cartons « souillés » devenant de la sorte non recyclables. Ils seront alors incinérés plutôt que mis en décharge.

Les **déchets verts** sont également limités dans le secteur de la C&D en région bruxelloise (peu de jardins privatifs). L'incinération à l'air libre des déchets verts est rarement tolérée: distance minimale de 100m à respecter par rapport aux haies et maisons, uniquement déchets végétaux issus de l'entretien ou du déboisement... Un broyage préalable est conseillé pour réduire les volumes. Les grosses sections de bois peuvent être utilisées comme bois de chauffage, les restes de végétaux broyés seront compostés ou dirigés vers l'incinération (IBGE, 2009). Étant donné leur faible

53 - Données récoltées lors d'une visite réalisée dans l'usine Isover, Etten-Leur, Pays-Bas, juillet 2010

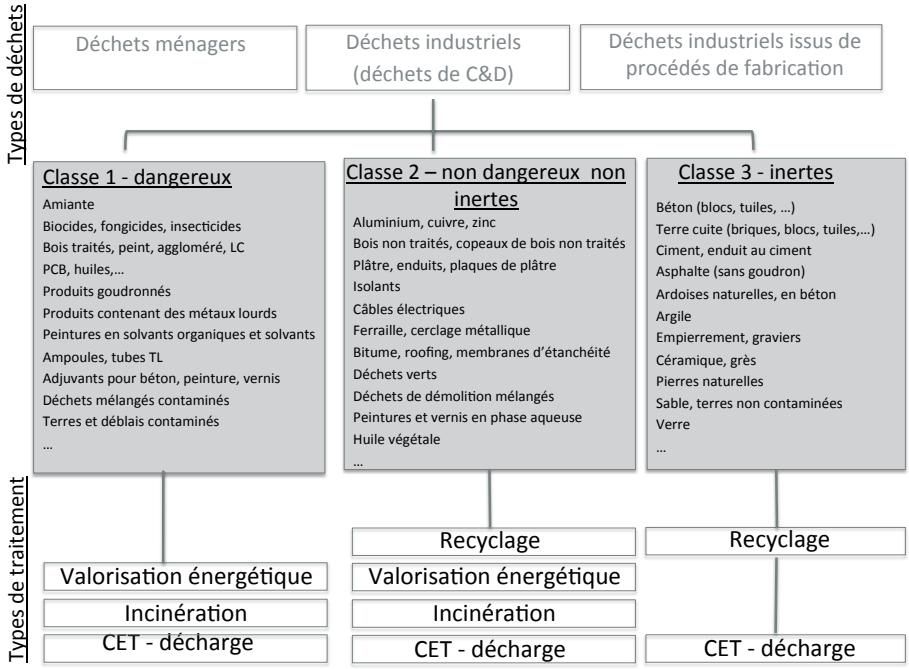
représentativité, nous ne tiendrons par compte de ces deux fractions dans cette recherche.

2.4.2. Classification

En Belgique, les déchets de C&D sont actuellement répartis selon trois classes différentes reprises également dans la figure ci-après:

- classe 1: déchets dangereux
- classe 2: déchets non dangereux et non inertes
- classe 3: déchets inertes

Figure 2.3: Classes des déchets et traitements



Source: [IBGE, 2011]

Les déchets de classe 1 sont ceux qui présentent un danger spécifique pour l'environnement et/ou pour l'homme. Ils sont en général dirigés vers l'incinération (avec ou sans valorisation énergétique) sauf dans le cas de déchets d'amiante qui subissent un traitement spécifique. Les déchets inertes de classe 3 sont des matériaux ne subissant aucune modification physique, chimique ou biologique pouvant entraîner des risques de pollution environnementale ou sur la santé humaine. Ils font en outre l'objet d'une obligation de recyclage en RBC[54]. Enfin, la classe 2 reprend tous les

54 - Arrêté du GRBC du 16 mars 1995.

matériaux n'entrant dans aucune des deux autres catégories. Ces trois classes de déchets représentent en général le tri minimum obligatoire en région bruxelloise. L'organigramme ci-après reprend le classement des déchets ainsi que leurs traitements respectifs en fin de vie.

Au niveau européen, la Commission des Communautés Européennes a établi une liste des déchets également appelée *Catalogue Européen des Déchets* (CED). Cette liste a pour objectif d'harmoniser les diverses nomenclatures de déchets existantes dans les différents États membres. L'harmonisation des références permet un meilleur contrôle (production, transport, élimination) et une meilleure traçabilité des flux de déchet entre pays de l'Union. Cette nomenclature européenne est également désignée sous le nom de codes EURAL. La liste des déchets reprend près de 1000 types de déchets répartis suivant 20 catégories. Tout déchet y est défini par l'association de 6 chiffres dont les deux premiers correspondent à la catégorie d'origine, les deux chiffres intermédiaires précisent le secteur d'activité dont il est issu, le procédé ou les détenteurs, les deux derniers chiffres désignent le déchet en tant que tel. L'annotation d'un astérisque (*) permet d'identifier qu'il s'agit d'un déchet dangereux. Les déchets du secteur de la construction et de la démolition (secteur d'activité) correspondent au chiffre 17. Ce nombre sera donc systématiquement référencé comme les deux premiers chiffres pour tous déchets de C&D.

Tableau 2.2: Code EURAL: déchets de construction et démolition

CODE	DENOMINATION
17	DECHETS DE CONSTRUCTION ET DE DEMOLITION (Y COMPRIS DEBLAIS PROVENANT DE SITES CONTAMINES)
17 01 XX	Béton, briques, tuiles, céramiques
17 02 XX	Bois, verre et matières plastiques
17 03 XX	Mélanges bitumineux, goudrons et produits goudronnés
17 04 XX	Métaux (y compris leurs alliages)
17 05 XX	Terres (y compris déblais provenant de sites contaminés), cailloux et boues de dragage)
17 06 XX	Matériaux d'isolation et matériaux de construction contenant de l'amiante
17 08 XX	Matériaux de construction à base de gypse
17 09 XX	Autres déchets de construction et démolition

Source: AGRBC du 25 avril 2002

Le code EURAL est d'application depuis 2002[55] en Région de Bruxelles-Capitale. Dans le cadre des déclarations trimestrielles obligatoires pour le registre des déchets, il est impératif de désigner les déchets générés selon leur code respectif. Ce code figure

55 - Arrêtés du GRBC du 25 avril 2002.

également sur les bordereaux de collecte et déversage en centre de tri. Un tableau ci-après reprend de manière synthétique la liste des subdivisions de fractions opérées dans le cas des déchets de C&D (en considérant uniquement les 4 premiers chiffres). La liste complète des nomenclatures de déchets de C & D est fournie en annexe.

Notons que l'arrêté du 25 avril 2002 reprend également la définition de codes de traitement devant être attribués aux déchets en fonction de leur destination. Ces codes sont également repris de manière succincte pour présenter les principaux traitements pouvant être référencés dans le cas des déchets de C&D. La liste complète figure aussi en annexe.

Les déchets de C&D font donc l'objet de classements et nomenclatures particulières qui sont essentiels et obligatoires pour assurer la traçabilité des déchets produits sur chantier.

Tableau 2.3 : Codes de traitement

CODE	DENOMINATION
D1	Dépot sur ou dans le sol (exemple: mise en décharge, etc)
D5	Mise en décharge spécialement aménagée (exemple: placement dans des alvéoles étanches, séparées, recouvertes et isolées les unes des autres et de l'environnement, etc)
D12	Stockage permanent (exemple: placement de conteneurs dans une mine, etc)
D13	Regroupement préalable à l'une des opérations numérotées D1 à D12
D15	Stockage préalablement à l'une des opérations numérotées D1 à D14 (à l'exclusion du stockage temporaire, avant collecte, sur le site de production)
R1	Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie
R3	Recyclage ou récupération des substances organiques qui ne sont pas utilisées comme solvants (y compris les opérations de compostage et autres transformations biologiques)
R4	Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques
R5	Recyclage ou récupération d'autres matières inorganiques

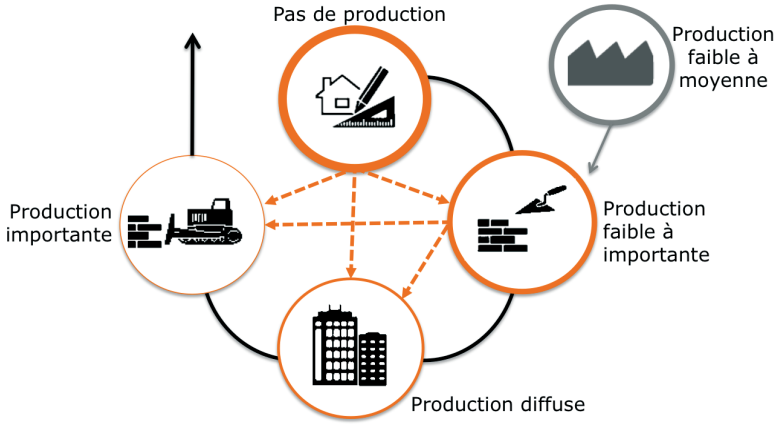
Source: AGRBC du 25 avril 2002

2.5. SOURCES ET CAUSES DE LA GÉNÉRATION DE DÉCHETS DE C&D

La génération de déchets de construction et démolition peut provenir de différentes sources et causes: les erreurs humaines, les erreurs de dessins, les mauvaises manipulations de matériaux, une mise en oeuvre non adaptée, etc.

Les causes de production de déchets peuvent être regroupées en plusieurs catégories correspondant à des stades distincts du cycle de vie d'un bâtiment: conception, construction/rénovation, opération et fin de vie utile. Nous remarquons néanmoins que dans de nombreux cas, bien qu'aucune production de déchet ne soit observée au stade de la conception, cette phase constitue une étape particulièrement cruciale de par l'influence qu'elle possède sur la génération des déchets dans les phases ultérieures. La phase de production de déchet la plus importante concerne bien entendu la démolition et les rénovations intermédiaires des bâtiments.

Figure 2.4: Sources de production des déchets de C&D



©

Durant le stade de la conception, des erreurs dans les documents peuvent apparaître (contrats et plans), comme des informations incomplètes sur les types et les dimensions des matériaux, des dessins ou des détails complexes difficilement réalisables, une coordination et une communication insuffisantes entre acteurs, etc. [ALDANA, 2012].

Durant la phase de construction, les causes de production de déchets peuvent être expliquées par des changements de conception de dernière minute, des détails constructifs complexes ou peu cohérents, des erreurs de commande ou de fabrication, un endommagement dû au transport ou à un stockage inadéquat, des erreurs de manutention et de mise en oeuvre (chutes), des accidents, des mauvaises conditions climatiques, une mauvaise coordination entre corps de métiers, un manque

de planification dans la gestion des déchets, une exécution rapide et pressions dues aux délais restreints, des difficultés d'accès, une faible éthique de travail, un manque d'information et de formation des ouvriers, etc. [ALDANA, 2012].

Durant la phase d'exploitation du bâtiment (opération), des petits travaux sont en général réalisés ainsi que des travaux de maintenance et de remplacement. Ces derniers peuvent être à l'origine de la production plus ou moins importante de déchets. En effet, nous verrons dans la troisième partie de la recherche que les éléments de construction possèdent des durées de vie utile différentes et donc des taux de renouvellement variables. Si cette caractéristique n'est pas prise en compte durant la phase de conception, le remplacement et la maintenance peuvent engendrer quantité considérable de déchets: l'accessibilité et la démontabilité des éléments doivent être pensées en fonction de leur durée de vie, de leur fréquence d'entretien, de maintenance et de remplacement. Encore une fois, la conception initiale du projet influence donc les quantités de déchets générés durant l'occupation. En outre, les remplacements peuvent également trouver leur origine dans un défaut de maintenance et d'entretien. Si ces derniers ne sont pas effectués selon les prescriptions du fabricant, la dégradation prématurée des éléments sera également génératrice de déchets.

Enfin, la phase de démolition est certainement la plus génératrice de déchets. La rénovation produit quant à elle des quantités très variables fortement dépendantes du type de rénovation envisagé (lourde, légère) et de la conception. La déconstruction en ce sens présente divers avantages: elle permet de réduire les flux de déchets en détournant ces derniers vers des filières de réemploi et récupération, elle encourage le tri à la source qui favorise l'obtention de fractions plus pures et facilite le recyclage des matières. Cependant, une déconstruction ne peut être réalisée correctement que si cette notion a été intégrée dès le stade de conception initial par le choix de systèmes constructifs démontables et réversibles, et le choix de matériaux plus facilement valorisables. En outre, l'opération de démontage doit prendre en considération les délais adéquats qui lui sont alloués, et doit comprendre également une formation et une information convenables et appropriées des corps de métier.

2.6. ACTEURS

Dans le chapitre précédent, nous avons cité l'importance de l'influence de la phase de conception dans la production ultérieure de déchet. Nous avons également évoqué dans le chapitre sur les filières, l'avantage que constitue le tri sélectif à la source pour favoriser une valorisation optimale des déchets. À l'heure actuelle, ce tri sélectif fait souvent défaut, il devrait donc faire l'objet d'une plus grande attention. Puisqu'il se situe en amont de la chaîne de traitement, il constitue en effet une étape clé dans l'obtention de fractions de qualité destinées soit au réemploi soit au recyclage. Or, le caractère démontable et/ou séparable des matériaux mis en oeuvre, indispen-

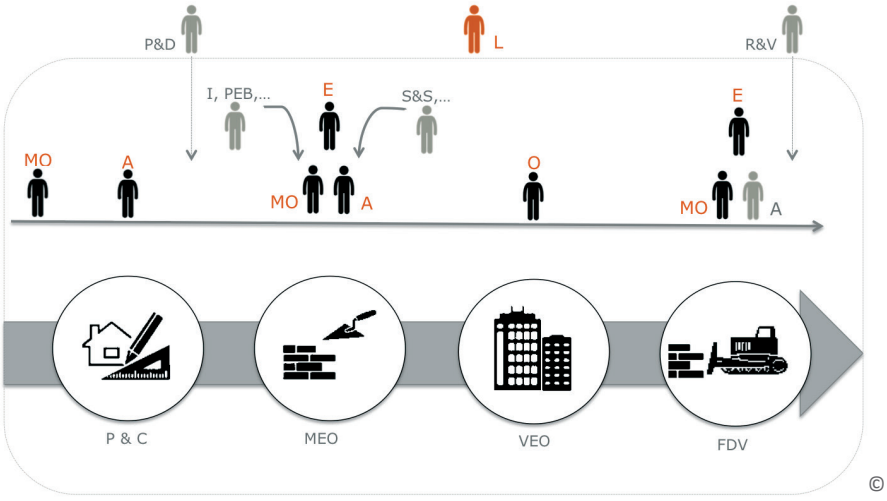
sable pour la réalisation d'un tri sélectif optimal, dépend principalement des choix conceptuels initiaux (et des pratiques de tri dans un second temps). Nous revenons donc sans cesse au point de départ du projet: la programmation et la conception constituent les étapes clés sur le long terme pour réduire et éviter la production de matières résiduelles tout au long du cycle de vie du bâtiment [PITRE, 2008]. Travailler sur les pratiques de tri et l'amélioration des filières est évidemment essentiel, mais un changement significatif en matière de prévention en pourra s'opérer que si la fin de vie est intégrée dans le programme et le design initial des produits et du bâtiment.

En Belgique, la gestion et l'évacuation des déchets de chantier sont de la responsabilité légale de l'entrepreneur. Les coûts de cette gestion sont généralement intégrés dans la remise de prix proposée par l'entreprise au MO, c'est donc ce dernier qui paie la gestion des déchets produits selon le principe du pollueur-payeur. De manière générale, nous pouvons observer un manque de sensibilisation à la question des déchets de C&D (et de rénovation) chez le MO (sauf en ce qui concerne les aspects financiers) et chez le concepteur qui réduit en général les démolitions à un poste forfaitisé (surtout dans le cas de petits projets). Or, le MO et l'architecte sont justement à la base du programme et de la conception du projet. La problématique du déchet est donc rarement intégrée en amont (sauf dans l'offre de prix de l'entreprise) et ne semble réellement « apparaître » qu'à partir du moment où il y a production de rebuts. Dans cette partie, nous aborderons les différents acteurs intervenant directement dans l'élaboration d'un projet et le cycle de vie du bâti. Nous parlerons de leur « rôle » respectif face aux déchets et surtout de leur temporalité d'action.

2.6.1. Temporalité d'intervention

À l'heure actuelle, l'intervention des différents acteurs du projet s'inscrit dans une perspective linéaire, à l'image de notre fonctionnement économique. Les intervenants apparaissent de manière relativement indépendante et segmentée dans le processus du projet et du cycle de vie du bâtiment. Cette approche conduit ainsi à la fragmentation des responsabilités. À chaque « passation » de responsabilité, les risques de manque de suivi et de clarté dans les indications à suivre en matière de prévention et de gestion des déchets s'accroissent. La répartition de ces responsabilités et la qualité de communication et d'information entre intervenants devraient donc faire l'objet de considérations particulières de la part de tous les acteurs, et ce, dès le stade de la conception. Or, nos processus de gestion traditionnels ne considèrent pas le cycle de vie du bâtiment, mais uniquement le cycle de vie d'un projet, c'est-à-dire jusqu'à la mise en service ou l'exploitation du bâtiment [PITRE, 2008]. Le cycle de vie du bâti est donc appréhendé par séquences dans lesquelles les intervenants viennent s'insérer au fur et à mesure. Cette vision séquencée et compartimentée va à l'encontre des objectifs de prévention et de réduction par la valorisation nécessitant une vision à long terme. Il est donc nécessaire d'opter pour une approche plus cyclique.

Figure 2.5: Intervention des différents acteurs selon une approche traditionnelle



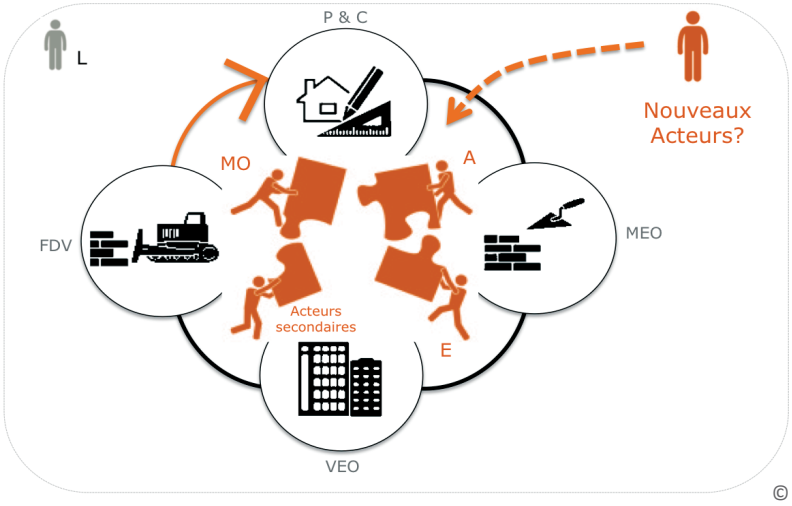
MO: maître d'ouvrage; A: architecte; E:entrepreneur; I: ingénieurs (stabilité, techniques spéciales); PEB: responsable PEB; S&S: coordinateur sécurité & santé; O: occupant (propriétaire ou locataire); P&D: producteurs et distributeurs; L: législateur; P&C: Programmation et conception; MEO: mise en oeuvre; VEO: vie en oeuvre; FDV: fin de vie

Pour pallier aux faiblesses du système (séquençage, et manque de considération pour le cycle de vie complet du bâtiment), il faudrait pouvoir revoir le fonctionnement de ce dernier, notamment par une définition plus précise concernant le partage des responsabilités quant aux déchets, et par une révision de la temporalité d'intervention des acteurs. Il semble en effet contre-productif que les personnes situées le plus en amont du projet, c'est-à-dire le MO et l'architecte, et qui ont la possibilité d'agir dans le sens d'une prévention long terme, soient également les moins informés et sensibilisés à la question des déchets. L'entrepreneur et ses ouvriers sont en effet ceux qui produisent les déchets, qui les trient (éventuellement) et qui les évacuent. Ils possèdent en ce sens une connaissance précieuse accumulée par l'expérience. Mais ils ne connaissent cependant pas la finalité des fractions (traitements et spécifications concernant la pureté), connaissance que possèdent les centres de tri, ce qui peut avoir pour effet de réduire l'efficacité du tri.

L'introduction et la participation, au stade de la programmation et de la conception, d'acteurs complémentaires généralement situés en fin de chaîne apparaît donc comme une solution particulièrement intéressante. Depuis quelques années, avec l'évolution des réglementations, nous avons assister à l'émergence de nouvelles fonctions, de plus en plus spécialisées (coordinateur S&S, responsable PEB, ingénieurs en techniques spéciales...). Face à la multiplicité d'exigences et de normes et à la spécialisation sans cesse croissante du secteur, il apparaît difficile pour l'architecte d'avoir une connaissance pointue dans tous les domaines. Il est dès lors

possible d'imaginer à l'avenir l'intervention de nouveaux acteurs comme des consultants indépendants spécialisés en gestion des ressources et déchets ou spécialisés en valorisation. Ces conseillers experts en déchet pourraient participer dès la phase de conception jusqu'à la mise en service de l'édifice [BREELS, 2005]. L'introduction de ces intervenants apportant leur domaine d'expertise à un moment où le projet n'est pas encore fixé constitue la meilleure chance de prévention de génération de déchet à long terme. Il s'agit donc d'opter pour une démarche intégrée et dynamique du projet, c'est-à-dire considérant la fin de vie et la gestion des « résidus » en résultant. Nous rejoignons ici l'idée d'écoconception développée en première partie.

Figure 2.6: Intervention intégrée des différents acteurs - approche optimisée



MO: maître d'ouvrage; A: architecte; E:entrepreneur; L: législateur; P&C: Programmation et conception; MEO: mise en oeuvre; VEO: vie en oeuvre; FDV: fin de vie

2.6.2. Producteurs & Distributeurs

Les producteurs sont responsables de la mise sur le marché des matériaux de construction qui sont à la base des choix opérés par les concepteurs et les MO. À l'heure actuelle, la gamme de produits est de plus en plus variée et peut provenir de n'importe où dans le monde. Avec le scandale de l'amiante[56], la responsabilité des fabricants par rapport aux produits qu'ils mettent sur le marché a été mise en cause, et à raison. Dans le chapitre sur la législation et les réglementations, nous avons fait

56 - En 1978, le Parlement Européen souligne le caractère cancérigène de l'amiante dans une résolution mais ce n'est qu'à partir des années '90 que l'amiante est réellement interdite. Les bâtiments contruits avant 1998 en Belgique peuvent encore présenter des matériaux à base d'asbeste ciment.

référence à l'introduction de la responsabilité élargie des producteurs à travers l'obligation de reprise pour certains flux spécifiques[57]. Cette mesure permet l'intégration des coûts et processus de valorisation et d'élimination dès la conception des produits. L'avantage est également la responsabilisation de fabricants par rapport aux impacts environnementaux et sanitaires des produits qu'ils mettent sur le marché. En RBC, les déchets repris par cette obligation de reprise ne concernent malheureusement que trop peu le secteur de la construction. Dans l'optique d'une conception intégrée des produits, nous pensons que l'élargissement de la responsabilité des producteurs à d'autres fractions propres au secteur de la construction est primordial. Cette démarche rejoint le concept d'écodesign ou d'écoconception développé dans la partie 1 de la recherche. Les fabricants devraient donc concevoir leur matériau en considérant la fin de vie de leurs produits.

Une autre méthode de responsabilisation concerne les déclarations environnementales de produit (EPD en anglais). Ces dernières reprennent en général des informations détaillées et quantifiées quant aux aspects environnementaux et sanitaires des produits par la réalisation, entre autres, d'analyses du cycle de vie (ACV). Ces informations, sont fournies par le fabricant et les études préalables sont à charge de ce dernier. Il n'existe pas encore de programme d'EPD à l'heure actuelle en Belgique.

Plus généralement, la responsabilité incombant aux producteurs à l'échelle de la conception du projet, se rapporte à la communication d'informations capitales pour la prévention et la gestion des chutes et déchets ultérieurs, à savoir [BREELS, 2005]:

- l'énergie grise des produits commercialisés
- la durée de vie des produits (fréquence de remplacement)
- la nécessité, fréquence et type d'entretien
- les possibilités et informations techniques quant à la mise en oeuvre des produits (fixations, assemblages...)
- les possibilités de réemploi, recyclage, valorisation

Concernant le dernier point, il nécessite de la part des producteurs une bonne connaissance des filières de traitement ainsi que le développement de produits respectant la démarche poursuivie (recyclabilité, capacité de réemploi, possibilité de désassemblages...). Étant à la source des éléments constituants les composantes du bâtiment, le rôle des fabricants est donc primordial quant à la production et la gestion des déchets.

2.6.3. Architectes

L'architecte est un des acteurs opérant le plus en amont du projet. Il possède de ce fait une rôle particulièrement influent dans la génération de déchet. Cependant, bien que l'architecte (A) soit à la base de la conception du projet, les décisions finales

57 - Source: Arrêté du GRBC du 18 juillet 2002.

incombent au maître d'ouvrage (MO). Le rôle de conseil et de sensibilisation que joue l'architecte auprès du MO prend ici toute son importance, encore faut-il que l'architecte soit conscient de la problématique du déchet et que le MO soit réceptif. À moins que ce dernier ne soit déjà sensibilisé et volontaire dans une démarche économe en déchet, il est envisageable de pouvoir convaincre certains MO si l'intégration de mesures en faveur de la prévention, du réemploi ou encore du recyclage présente un avantage économique ou « publicitaire » (pour certaines entreprises soucieuses de leur image).

En matière de conception, la minimisation de la production de déchets aux différentes phases (construction, occupation, démolition) devrait être intégrée au design initial du bâtiment. Comme exposé dans la partie 1 de la présente recherche, le bâtiment devrait également être conçu dans une optique d'adaptabilité dans le temps, en fonction de l'évolution des besoins des utilisateurs, et selon les principes de flexibilité et de réversibilité (*4Dimensional Design*). Dans cette optique dynamique, certaines projections sont maîtrisables (techniques, mise en oeuvre, matériaux, planification architecturale) alors que d'autres résultent de l'anticipation des évolutions (évolution sociale, évolution des standards, normes, contexte)[BREELS, 2005].

Durant les phases ultérieures à la conception du projet, le rôle de l'architecte est tout aussi important puisqu'il est considéré comme le coordinateur ou le chef d'orchestre du projet du moins jusqu'à la réception provisoire. Or, nous l'avons mentionné, une des difficultés et sources de production de déchets réside dans la définition du rôle de chaque intervenant, mais aussi dans le manque de communication claire entre eux (absence de vocabulaire commun, incompréhensions, ...). Dans ce contexte, il est nécessaire que l'architecte au centre du processus de projet constitue un bon relai d'information entre les divers acteurs et qu'il soit le premier acteur d'une démarche de communication, la première étape étant la transmission d'informations correctes et complètes (plans, détails, métrés). En outre, la mission de l'entrepreneur par rapport aux déchets et à leur gestion peut être précisée dans le cahier des charges, contrat cosigné par le MO et l'entrepreneur, mais rédigé généralement pas l'architecte. L'établissement d'une charte, constituant une sorte de garantie d'engagement, mais sans force légale, représente également une opportunité de responsabilisation des intervenants.

La responsabilité du concepteur quant à la prévention de la production de déchets est donc conséquente. Malheureusement, cette problématique est rarement considérée par l'architecte dans sa conception. L'évacuation des rebuts du chantier est souvent reprise de manière forfaitaire et laissée aux bons soins de l'entrepreneur. Le manque de sensibilisation, d'information, de formation et de cadre réglementaire (ex: obligation d'un inventaire déchet avant les travaux) explique cette tendance. En ce qui concerne l'incorporation de matériaux de seconde main issus du site propre ou d'un marché extérieur, elle est relativement rare dans les démarches de concep-

tion actuelles[58]. Nous traiterons plus particulièrement de cette question dans le chapitre suivant *Architecte valorisateur*. Il existe donc un important travail à fournir en matière d'information des architectes par rapport au marché du déchet, aux possibilités et filières existantes de réemploi/recyclage/valorisation, aux connaissances des matériaux et des stratégies de prévention et de gestion, à l'importance de la notion de flexibilité, adaptabilité et réversibilité.

2.6.4. Maîtres d'ouvrage

Le maître d'ouvrage (MO) représente le client à qui devrait bénéficier le projet (comme investissement ou à des fins de jouissance personnelle) et qui finance l'opération de construction ou de rénovation. C'est donc lui le responsable des décisions finales concernant les intervenants, les matériaux, la conception du projet, etc. Son rôle est donc central. Il est donc important qu'il soit sensibilisé, informé, ouvert et surtout, bien conseillé. Pour ce faire, il doit pouvoir s'entourer d'une équipe compétente et complémentaire fonctionnant de manière interdépendante afin de favoriser une réflexion et une approche intégrée du projet telle que présentée précédemment.

Dans ce cadre, il est crucial de préciser son rôle par rapport à la gestion des déchets, mais également d'engager sa responsabilité à ce niveau. Il existe en effet un certain flou en ce qui concerne cette responsabilité: les déchets produits par la démolition partielle ou complète d'un bâtiment dépendent de la responsabilité de l'entrepreneur, mais sont à charge du MO selon le principe du pollueur-payeur, alors que les déchets de chutes des nouveaux matériaux mis en oeuvre sont à la charge des corps de métier concernés par sa production.

2.6.5. Entrepreneurs

L'entrepreneur est la personne responsable de la gestion et de l'évacuation des déchets produits sur chantier. Cependant, l'apparition de l'entrepreneur (E) dans la réalisation d'un projet se produit en général après les processus de programmation et de conception, c'est-à-dire assez tardivement. Son intervention serait pourtant appréciable bien plus tôt, car l'apport de son expérience pratique acquise sur le terrain permettrait d'éviter certaines erreurs de conception, et de considérer la réalité de la gestion des déchets sur chantier. Son aide pourrait être considérable concernant entre autres [BREELS, 2005]:

- la proposition de solutions de techniques constructives destinées à diminuer la quantité de déchets au regard des documents transmis par l'architecte,
- des alternatives pour la mise en oeuvre (moyens de fixation, ...) facilitant le mon-

58 - Un bureau d'architecture aux Pays-Bas en a pourtant fait sa marque de fabrique (Architecten 2012). Il existe également des initiatives similaires dans d'autres pays: en France (Villa déchets) ou aux Etats-Unis (Rural Studio), etc. En Belgique, le bureau AA-AR (Liège) a également expérimenté cette approche dans différents projets de rénovation et construction neuve.

tage et le désassemblage,
- l'apport d'informations pratiques sur les matériaux (sortant bien généralement de la réalité des architectes),
- l'apport d'informations sur les coûts inhérents aux diverses alternatives proposées,
- l'apport d'informations sur la durée et la difficulté de mise en oeuvre des solutions retenues.

L'entrepreneur a donc sa place bien plus tôt dans l'élaboration du projet, mais il est nécessaire qu'il soit également bien informé et ouvert aux nouvelles techniques et matériaux. Nous remarquons qu'un manque de connaissance subsiste dans le secteur par rapport aux nouvelles techniques (étanchéité à l'air...) et matériaux « écologiques » arrivant sur le marché avec l'évolution de l'écoconstruction et l'application des standards passifs. Ce constat semble se réduire peu à peu avec la demande croissante de bâtiments énergétiquement performants, et la nécessité de se former en la matière devient pour les entrepreneurs essentielle. Concernant plus spécifiquement le cas du réemploi, la plupart des entrepreneurs sont réticents à mettre en oeuvre ce type de matériaux, car ils considèrent que l'opération demande un investissement supplémentaire en temps et en main d'oeuvre. Comparativement, les matériaux neufs semblent plus attractifs [IBGE, 2012]. En conséquence, une campagne de sensibilisation du secteur s'avère nécessaire.

2.6.6. Ingénieur (stabilité et techniques spéciales)

Le rôle de l'ingénieur est, dans le cas de la prévention et de la gestion des déchets, relativement secondaire par rapport aux trois précédents acteurs.

L'apport de l'ingénieur (I) en stabilité permettrait d'évaluer dans certains cas la possibilité de réemployer des composantes structurelles récupérées[59]. Lors de ce type d'opération, la question de la responsabilité se pose pour les architectes qui décident de mettre en oeuvre ces matériaux de réemploi, surtout concernant les questions de sécurité et de risques structurels encourus . Il est donc nécessaire de développer un système de certification et de réaliser des tests sur les éléments structurels de récupération. D'où l'importance du rôle des ingénieurs en stabilité pour garantir la solidité structurelle des éléments. Il apparait que la tendance actuelle, se basant sur des critères de sécurité, tend vers un surdimensionnement des sections. Un travail

59 - Un exemple de réutilisation d'éléments structurels a été réalisé pour le projet BEDZED (Beddington Zero Energy Development) en banlieue londonienne (UK): 95% de l'acier structurel utilisé dans le projet provenait de récupérations, soit près de 98 tonnes d'acier. La certification des poutrelles métalliques a été établie à partir de leur date de fabrication. Après une recherche historique et une fois la date obtenue, il a suffit de se référer aux tableaux des résistances fournis pour l'époque concernée. A propos du bois de récupération, une analyse a été réalisée en laboratoire afin d'identifier avec précision l'essence du bois utilisé. Cette opération s'est révélée plus coûteuse par rapport à l'achat de bois neuf alors que l'opération sur l'acier a été vite rentabilisée (point de vue coûts environnemental et financier).

de sensibilisation des ingénieurs doit donc être opéré pour envisager l'éventualité d'une « récupération structurelle ».

Concernant les ingénieurs en techniques spéciales, ils peuvent participer à la réalisation de la rationalisation et de l'optimisation des techniques en termes de localisation des trémies, facilité d'accès pour leur maintenance, distribution,etc. [BREELS, 2005].

2.6.7. L'expert/conseiller en déchets

Ce type de fonction n'existe pas encore dans l'élaboration d'un projet. Or, nous avons pu remarquer un manque de connaissances et d'informations concernant la problématique et les spécificités du déchet chez l'ensemble des acteurs précités. L'intervention d'un acteur extérieur et indépendant spécialisé en la matière (législation, techniques, possibilités de recyclage/réemploi) serait un atout majeur pour une approche globale et intégrée de la prévention et de la gestion des déchets [BREELS, 2005]. La complexité croissante des bâtiments et du métier d'architecte ne permet pas aux personnes exerçant cette profession d'être compétentes dans tous les domaines. Ce constat tend vers une spécialisation croissante du secteur. Dès lors, nous avons assisté ces dernières années à l'apparition progressive de nouveaux intervenants dans le projet (conception et/ou construction): coordinateurs sécurité santé, conseillers PEB, certificateurs, conseillers énergie,etc. L'émergence du conseiller en déchets, pouvant agir de la conception à la construction voir plus loin dans le processus, se justifie donc tout à fait.

2.6.8. Le législateur / L'administration

Puisqu'il a force de loi, le législateur est sans doute l'acteur ayant le plus d'influence sur la modification des pratiques en matière de prévention et de gestion des déchets. La taxation dissuasive de mise en décharge et l'obligation de recyclage de la fraction pierreuse en sont des exemples frappants. L'administration joue également un rôle important en matière d'information, de formation et de contrôle. Des mécanismes de subsides et des programmes d'action (ex: concours bâtiments exemplaires, entreprises écodynamiques...) représentent des supports à l'introduction et la stimulation de nouvelles pratiques. Parallèlement, les exigences et normes de plus en plus spécifiques et poussées alourdissent le travail des différents acteurs et sont dans certains cas inadaptées à des matériaux non issus directement d'un système de production industrielle (matériaux naturels locaux comme la terre crue ou la paille, matériaux de réemploi). Concernant les matériaux de réemploi, les possibilités d'adaptation et d'intégration au cadre normatif en vigueur pour les matériaux de construction semblent difficilement implémentables. Pour favoriser l'emploi de ce type de matériaux au même titre qu'un autre produit, le cadre réglementaire devrait certainement s'adapter plutôt que l'inverse [GHYOOT, 2014]. Quand nous parlions de faire interve-

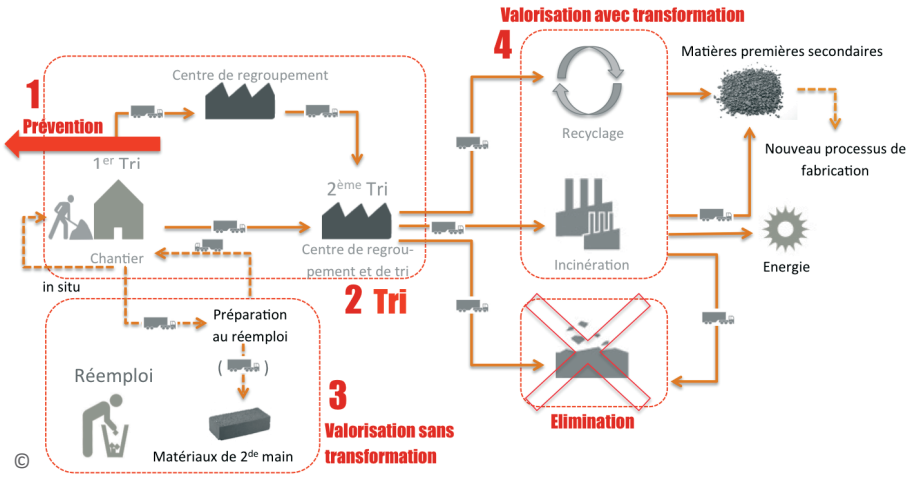
nir l'ensemble des acteurs autour de la table, il est nécessaire que d'une manière ou d'une autre le législateur intervienne également. Non pas dans l'élaboration même de projets (programmation, conception), mais plutôt dans l'organisation d'études et de groupes de travail pluridisciplinaires visant à émettre des propositions d'adaptation de lois, réglementations et normes.

La liste des intervenants ici proposée n'est évidemment pas exhaustive, mais elle reprend les principaux acteurs pouvant intervenir dans l'élaboration du projet et devant participer à une meilleure anticipation de la production de déchet. L'intervention de l'entrepreneur avant la phase de réalisation et d'appel d'offre peut par ailleurs être réalisée sous forme d'avis externe n'engageant pas forcément sa sélection pour la phase de construction (même si cette démarche de continuité peut être avantageuse). Il est évident que dans le cas de projets de petite échelle, faire interagir l'ensemble de ces acteurs représente une démarche lourde et coûteuse. Dans ce cas, un travail de formation et de sensibilisation des trois acteurs principaux (A,MO, E) représente la démarche la plus appropriée s'accompagnant d'une législation évolutive permettant l'encouragement de la valorisation optimale des déchets.

2.7. ÉTAPES ET FILIÈRES

Dans ce chapitre, nous allons retracer les différentes étapes et filières suivies par les déchets de C&D (et plus particulièrement dans le cas de rénovation) en partant du site de production, c'est-à-dire du chantier, jusqu'aux filières de traitement. Ces différentes étapes sont également présentées dans l'ordre de la hiérarchie d'action prônée par la Directive Cadre 2008/98/CE. Toutes ces étapes (à part la prévention) sont comprises comme l'ensemble des opérations relatives à la gestion des déchets[60]. La figure ci-dessous représente les différentes trajectoires suivies par les déchets de C&D que nous définirons plus en détail dans la suite de ce chapitre.

Figure 2.7: Étapes et filières des déchets de C&D



2.7.1. Prévention

La prévention peut être définie comme l'ensemble des mesures prises en amont d'un projet et permettant d'éviter qu'une matière, produit ou objet ne devienne un déchet ou, visant la réduction de la production de déchet en termes quantitatif, de nocivité ou de teneur en substances nocives. Il s'agit de la première étape à réaliser suivant la hiérarchie d'action définie dans la Directive Cadre 2008/98/CE. Dans le cas d'une rénovation, la première action de prévention concerne avant tout la conservation des éléments en place en bon état. La seconde étape serait de réduire les démolitions à leur minimum et d'encourager le démontage des éléments réutilisables plutôt qu'une démolition. Ensuite, le tri à la source permet l'obtention de fractions les plus pures possible optimisant les possibilités de valorisation. Toutes ces

60 - La gestion des déchets comprend en effet dans sa définition toutes les opérations de tri, transport, collecte, valorisation et élimination des déchets ainsi que la surveillance de ces opérations y compris après fermeture des sites de décharges.

actions constituent des mesures préventives. D'autres mesures encore pourraient concerner la conception dans le projet de lieux et d'espaces dédiés au tri et au stockage temporaires des déchets, c'est-à-dire intégrer dans les programmes la gestion des déchets quotidiens. Les mesures de prévention peuvent également être prises au niveau de la sensibilisation et de la formation du secteur. Les actions sont donc diverses et nombreuses.

2.7.2. Démantèlement sélectif et déconstruction (ou démontage)

Nous rappelons que le réemploi est situé en deuxième position sur l'échelle de priorité d'action juste avant le recyclage. Or, la déconstruction, tout comme le démantèlement sélectif, représente une étape préalable **essentielle** dans un objectif de réutilisation par le réemploi et le recyclage des matériaux. La **déconstruction** se définit comme une dé-mise en oeuvre des éléments construits dans le but de les récupérer et de les réutiliser principalement pour le réemploi. La **démolition sélective** concerne la démolition phasée en vue de réaliser un tri à la source poussé dans le but de faciliter le recyclage des différentes fractions.

Dans le cas de projets importants de démolition, le démantèlement sélectif est généralement appliqué par les entreprises spécialisées en démolition qui y trouvent un intérêt financier (ex.: De Meuter). Cependant, dans le cas de projets de rénovation plus particulièrement de petite envergure, le démontage représente une pratique peu utilisée alors même qu'elle est à l'origine de la possibilité de valorisation par le réemploi. Les raisons évoquées concernent en général l'investissement en temps supplémentaire (par rapport à une démolition classique), les impacts sous-jacents au niveau financier (coût de la main-d'oeuvre plus élevé), le manque de place. Concernant le manque de place, il est réellement problématique lorsque les éléments démontés doivent être stockés sur le chantier en attendant leur réutilisation sur le site même. Les « déchets » destinés au réemploi vers des filières de revente ne doivent pas forcément être stockés dans l'attente de leur réutilisation (l'entreposage est de plus courte durée). Concernant le temps investi, il est certainement plus important que dans le cas d'une démolition standard alors qu'au niveau du coût, l'opération de démontage ne constitue pas forcément une perte financière puisqu'il diminue les coûts de traitement des déchets: diminution des quantités à traiter par détournement vers les filières de réemploi et diminution des coûts liés à une plus grande pureté des fractions.

Notons qu'il existe actuellement des exemples d'entreprises, principalement d'économie sociale, qui proposent un démantèlement sélectif des matériaux de construction dans le but de revendre ces derniers sur le marché de la seconde main. Cette approche présente divers avantages: d'une part, elle permet une réinsertion sur le marché de l'emploi de personnes précarisées ou chômeurs de longue durée dans des branches en pénurie de main-d'oeuvre, et d'autre part, elle favorise l'économie

de matières et de déchets produits tout en proposant à certains ménages à faibles revenus d'accéder à des matériaux de construction à bas prix.

Un bon exemple de ce type d'entreprises est le projet Levanto à Anvers[61] dont l'initiative a été intitulée « De Groene Reus » (DGR). Après une étude de marché réalisée en 2008 pour évaluer le secteur des matériaux de réemploi, le DGR se lance dans une série de chantiers pour une prédémolition et un démontage d'éléments « non constructifs » (c'est-à-dire non structurels) en bon état: appareils sanitaires, radiateurs, revêtements de sol démontables, portes en bois massif. Concernant la revente, DGR s'est tournée vers un organisme de vente de matériaux de seconde main déjà bien établi en Flandre: De Kringwinkel. L'expérience montre cependant une série de freins et d'obstacles au développement d'initiatives similaires (IBGE, 2010_C):

- une bonne connaissance des marchés et des débouchés est cruciale pour un écoulement des matériaux récupérés.
- la notion de délais est également déterminante: le démantèlement sélectif ou la prédémolition doit être intégré dans le planning, car il s'agit d'opération coûteuse en temps.
- une bonne organisation entre corps de métiers et des mesures de sécurité adaptées (déchets dangereux) sont à prévoir.
- un inventaire préliminaire des matériaux récupérables doit être réalisé.
- un important travail d'information et de sensibilisation doit être développé pour encourager ce type de pratique.

En Région Wallonne et en Région de Bruxelles-Capitale, ce type d'actions prend forme grâce à différentes initiatives[62] et entreprises d'économie sociale. La fédération des entreprises d'économie sociale Ressources[63], Retrival ou Croisade Pauvreté sont des exemples d'entreprises travaillant en ce sens (RW).

2.7.3. Tri sélectif et collecte sélective

Le tri concerne toute opération visant à séparer les déchets selon leur nature dans l'objectif d'en faciliter le traitement. Alors que la collecte sélective[64] représente l'étape postérieure au tri, et qui consiste en l'enlèvement des déchets par nature de fraction pour les acheminer vers un lieu de tri, de regroupement, de valorisation, de traitement ou de stockage. Outre les raisons humaines et techniques (manque de formation et d'information, impossibilité de démontage, démolition plutôt que

61 - Informations disponibles sur www.levanto.be

62 - Voir 2.3.3 *Références et outils non réglementaires relatifs aux déchets*: Guide du réemploi, et projet "Activation des filières".

63 - Informations disponibles sur www.res-sources.be

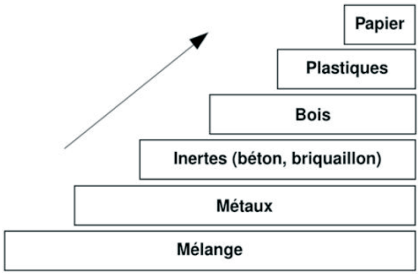
64 - La collecte peut également être définie comme le ramassage des déchets comprenant leur tri et stockage préliminaire en vue de leur transport vers une installation de traitement de déchet. La collective sélective se réfère à un flux spécifique de déchets conservés séparément selon leur type et nature en vue d'un traitement particulier.

démantèlement sélectif...), la performance du tri est également tributaire des systèmes de collecte mis en place. Un tri poussé à la source peut perdre tous ses avantages si les déchets sont évacués dans un seul et même conteneur mélange, sauf si ce dernier est compartimenté ou que les fractions sont séparées (tri dans sacs différenciés). Il est donc important de viser une cohérence entre tri à la source et système de collecte.

Chantier

Le chantier constitue la première étape de la vie d'un déchet de C&D. Il représente également le premier lieu d'action, le plus en amont de la chaîne, permettant de tendre vers une meilleure valorisation des fractions. En effet, le tri à la source constitue une étape essentielle dans la séparation des déchets par nature permettant ainsi de réduire la contamination avec d'autres fractions à la base des difficultés de recyclage rencontrées ultérieurement. Or, la pratique montre qu'en Région de Bruxelles-Capitale, mis à part certains chantiers de grande envergure ou bénéficiant d'espaces de tri suffisants, les conteneurs mélange représentent le mode de tri le plus couramment usité, suivi par le tri des métaux et des inertes.

Figure 2.8: Gradation de stade de tri sur chantier



Source: Rotor asbl et Ceraa asbl [IBGE, 2012]

Pourtant, les sociétés de location de conteneurs proposent généralement l'application de prix dégressifs selon que les fractions soient évacuées séparément ou non[65]. En effet, le prix d'évacuation de déchets mélangés (classe 2) revient entre 20 et 41 €/m^3 alors qu'il est de l'ordre de 16 à 24 €/m^3 pour les déchets de bois (soit entre 0,027 €/kg et 0,04 €/kg pour du bois plein résineux), et de 12 à 30 €/m^3 pour les déchets inertes[66] (soit entre 0,005 €/kg et 0,0125 €/kg pour du béton armé). Les déchets métalliques collectés séparément ne représentent que quelques euros par m^3. Cette pratique commerciale devrait en toute logique pousser le tri sélectif à la source, ce qui ne semble pas être le cas surtout sur les petits chantiers alors que dans le cas de

65 - Un tableau reprenant les prix de location de conteneurs par type de fraction est fourni en annexe.

66 - Source: tarifs de l'Agence Régionale pour la Propreté (Bruxelles Propreté) pour l'année 2007 (IBGE, 2009).

gros chantier, un tri minimum est généralement imposé (dangereux, inertes, emballages, bois et parfois plus).

Les raisons de ce « non-tri sélectif » à la source peuvent être d'origines diverses. Elles sont indéniablement liées aux types de contenants et de filières existants sur le marché, dépendant eux-mêmes d'une demande initiale qui a depuis évolué. Un rapport réalisé par Rotor pour Bruxelles Environnement étudie les différents types de contenants rencontrés et l'influence qu'ont ces derniers sur les pratiques de tri sur chantier. Face au manque de place pour le tri et à la logistique actuelle adaptée aux conteneurs de grande taille (en général de 8 à 25m^3), le rapport conclut à une adaptation du système actuel: c'est-à-dire un seul conteneur dans lequel les fractions sont séparées distinctement, combiné à des espaces différenciés de dépôt par fraction (les plus gros éléments facilement « empilables » dans le conteneur) sur la voie publique louée à cet effet[67]. La collecte de plus petits contenants, nous apparaissant pourtant mieux adaptée aux chantiers de petite envergure, nécessiterait l'utilisation de nouveaux véhicules plus petits , et aurait pour conséquence d'accroître le nombre de trajets pour la collecte. Cette solution aurait pour conséquence d'aggraver le problème de congestion des axes routiers bruxellois, d'augmenter les coûts de collecte et d'augmenter les impacts environnementaux liés au transport.

Concernant les pratiques, une enquête réalisée auprès de responsables de chantiers dans le cadre de l'étude du gisement des déchets en RBC a permis d'identifier, selon les acteurs du secteur, les obstacles principaux à la gestion et au tri sélectif sur chantier [IBGE, 2012]. Le manque de place, l'investissement en temps et en argent semblent constituer les freins principaux au tri optimal. Les quantités trop faibles ainsi que la complexité du travail sont également citées. Nous pourrions y ajouter un manque de formation et d'information des ouvriers ainsi qu'un manque de contrôle. Si certains déchets étaient directement séparés dès leur production, la fraction récupérable à des fins de recyclage serait plus importante, car elle éviterait d'être « souillée » par d'autres activités sur le chantier. Dans certains cas, la sous-traitance pour le tri peut constituer un avantage. Encore faut-il que des entreprises proposent ce service[68]. L'idée est séduisante pour tous les entrepreneurs ne souhaitant pas se soucier

67 - Rapport pour l'étude "Encadrement technique pour l'élaboration d'un appel à projet sur la collecte des déchets sur les petits chantiers en Région de Bruxelles-Capitale", Bruxelles, juillet 2012

68 - C'est le cas d'une entreprise belge, Green Mobius, créée en 2010 et qui s'est basée sur le tri à la source pour développer son activité. Elle proposait une sous-traitance aux entrepreneurs pour le tri de leurs déchets sur chantier. Le fonctionnement reposait sur une zone centralisée de "dépôt" des déchets sur site et l'aménagement d'alcôves avec big bag pour le tri sélectif réalisé quotidiennement par un employé de la société (formé à cet effet). Une fois les big bag remplis, un service d'enlèvement intervenait et les remplaçait par des vides. L'entreprise bénéficiait de subventions pour l'emploi de personne précarisée et couvrait principalement des chantiers de moyenne à grande envergure de construction neuve moyennant le dégagement d'un espace propre sur chantier. Après deux années d'activité, la structure

du tri de leurs déchets. À l'échelle de petits chantiers, le coût de sous-traitance du tri doit néanmoins rester avantageux.

Centre de regroupement et de tri

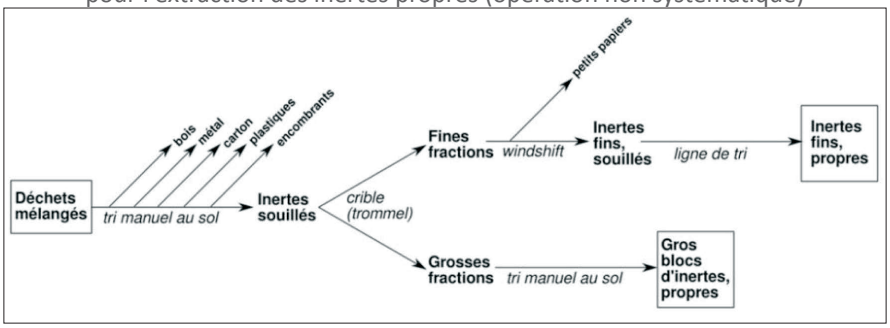
En Région de Bruxelles-Capitale, tous les déchets évacués des chantiers sont en général redirigés vers un centre de tri et/ou de regroupement. Ces centres reçoivent de grandes quantités de « mélange" mais également une part de fractions déjà séparées (bois, inertes, terres, métaux). Ces centres représentent les liens intermédiaires entre les lieux de production de déchets de C&D (les chantiers) et les filières de valorisation et d'élimination. Parfois, les déchets peuvent transiter par plusieurs centres de tri avant d'être acheminés vers les filières de traitement adéquates. Le transport des déchets jusqu'aux centres de regroupement et de tri est réalisé par l'entrepreneur ou par l'intermédiaire d'un service de location de conteneurs.

Diverses activités sont menées dans ces centres de tri: certains poussent le tri vers des fractions relativement pures, d'autres possèdent des activités connexes de traitement de différents flux et de location de conteneur, d'autres encore ne représentent qu'un centre de regroupement, sorte de ramassage temporaire de déchets, évacués vers des centres de tri une fois une certaine masse critique atteinte. Dans les centres de tri, l'opération de tri des déchets est réalisée manuellement (au sol ou sur tapis) et mécaniquement (pelles, bulldozer, broyeur éventuel). En RBC, il existe plusieurs centres de regroupement et de tri comme De Meuter Recycling à Neder-over-Hembeek (1120 Bruxelles), Sita Recycling Center à Haren et Neder-over-Hembeek (1130 et 1120 Bruxelles), Shanks Brussels à Forest (1190 Bruxelles)... Van Pachtenbeke & Fils est également un centre de regroupement et de tri situé sur la commune de Woluwe-St-Etienne (1932 Zaventem) à proximité de la RBC.

Dans certains centres de tri, les déchets en mélange font l'objet d'un tri relativement poussé. Il est parfois nécessaire d'effectuer plusieurs étapes de tri pour en dégager les fractions les plus pures possible. Les résidus de tri sont acheminés vers différentes filières: les résidus à retrier sont envoyés vers d'autres centres de tri (centres secondaires), alors que les résidus non retriables sont envoyés vers l'incinérateur (avec broyage préalable éventuel) soit vers la décharge en cas de faible valeur calorifique [IBGE, 2012].

mise en faillite faute d'insuffisance de capitalisation de la société cherchait de nouveaux partenaires. Il semblerait qu'elle ait cessé toute activité à ce jour.

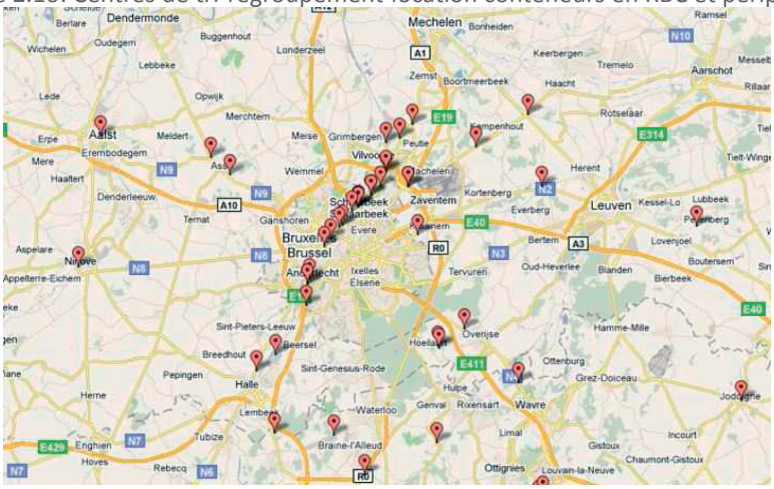
Figure 2.9: Exemple de tri à partir de fraction mélange
pour l'extraction des inertes propres (opération non systématique)



Source: Rotor asbl et Ceraa asbl [IBGE, 2012]

Ci-dessous, une carte des centres de tri et de regroupement ainsi que de location de conteneurs situés en RBC et dans sa périphérie.

Figure 2.10: Centres de tri-regroupement-location conteneurs en RBC et périphérie



Source: Rotor asbl et Ceraa asbl [IBGE, 2012]

2.7.4. Valorisation

La *valorisation* concerne toute opération permettant une réutilisation des déchets par substitution de matière nécessitant ou non un traitement ou une transformation préalable: réemploi, recyclage, réintroduction dans la chaine de production, etc.
Alors que le *traitement* se réfère à toute opération de valorisation ou d'élimination comprenant la préparation préalable des déchets.

Réemploi & Préparation en vue du réemploi

Le réemploi est défini comme *toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus*[69]. Deux éléments nous apparaissent inadaptés dans cette définition. Premièrement, la spécification « qui ne sont pas des déchets », or le déchet, nous l'avons vu précédemment, propose une définition légale relativement vaste et floue puisqu'il s'agit de « tout objet dont le détenteur se défait », c'est-à-dire abandonne. Dans le secteur du réemploi, dans de nombreux cas, il s'agit justement d'objets ou matières « abandonnées » ou délaissées remises en état avant de rejoindre le marché de la seconde main. La deuxième inadéquation concerne la spécification « *pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conç*us ». Ce terme réduit les possibilités de réutilisation des matériaux et objets de réemploi, ces derniers pouvant dans certains cas être utilisés à d'autres fins que leur fonction initiale. Nous proposons donc de considérer la définition du réemploi comme *toute opération par laquelle des produits ou des composants qui* ***peuvent être*** *des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus* ***ou pour un autre usage****.* Pour nuancer ou préciser quelque peu la définition initiale de « réemploi », un autre terme apparaît et est utilisé dans les textes de loi, celui de « préparation en vue du réemploi ». La « préparation en vue du réemploi » représente *toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation par laquelle des produits ou des composants de produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés/réemployés sans autre opération de prétraitement*[70]. Cette opération constitue la deuxième étape dans la hiérarchie d'action, juste après la prévention.

Notons qu'il existe un flou actuellement sur l'utilisation du terme de *réemploi* ou de *réutilisation*. En effet, le mot *reuse* utilisé en anglais dans la législation a par exemple été traduit par *réemploi* en Région de Bruxelles-Capitale et par le terme *réutilisation* en Région Wallonne[71]. Dès lors, quel terme utiliser ? La *réutilisation* est parfois définie comme l'*introduction d'un matériau récupéré dans un autre cycle de production que celui dont il est issu* [PITRE, 2008]. Il s'agit donc ici de recyclage principalement. Alors que le *réemploi* peut être défini comme *tout acte par lequel on donne un nouvel usage à un objet existant tombé en désuétude, c'est-à-dire qui a perdu l'emploi pour lequel il avait été conçu*. La notion de réemploi comprend les notions de réutilisation, de récupération et de recyclage. Il s'agit alors de considérer l'objet désuet comme une matière première [HUYGEN 2008]. En réalité, la distinction entre ces deux termes n'est pas tout à fait claire. Le mot réutilisation se réfère plutôt à une nouvelle « utilité ou utilisation » alors que le réemploi signifie « employé à nouveau ». Or, le dictionnaire propose comme synonymes à l'*utilisation*, les mots *emploi*

69 - Définition donnée selon la Directive Cadre Déchet (2008/98/CE).

70 - Définition selon la Directive Cadre 2008/98/CE

71 - Source: www.res-sources.be

et *usage*. Il semblerait donc qu'au final la définition de ces termes soit identique puisqu'il s'agit de redonner un usage à un matériau/objet. Dans cette perspective, le recyclage pourrait donc également être repris. Néanmoins, nous proposons de retenir préférentiellement le terme de *réemploi* au terme *réutilisation* en considérant la définition légale de *préparation en vue du réemploi*, c'est-à-dire en considérant qu'aucune autre opération de prétraitement que la réparation, le contrôle et le nettoyage ne soit opérée (excluant le recyclage).

Actuellement, il existe différentes filières de réemploi. Le marché de la seconde main semble assez bien développé dans certains secteurs où la récupération apparaît comme moins complexe: textiles et vêtements, objets divers, vaisselles, meubles... Concernant le secteur de la construction, le marché relatif aux matériaux et objets à valeur patrimoniale est actuellement bien développé. La valeur historique de ces éléments justifie leur récupération soigneuse et leur revente à prix élevés: portes, tuiles, briques anciennes, quincailleries, corps de cheminées, dalles de sol,etc. Malheureusement, la récupération de ces composantes n'est pas systématique sur tous les chantiers de rénovation: il arrive encore souvent de voir ces objets de valeur atterrir dans un conteneur tout-venant (mélange). En RBC, différentes initiatives et projets, principalement dans le secteur de l'économie sociale, ont été étudiés ou sont actuellement en cours de développement[72]. La plateforme Opalis dont nous avons parlé précédemment représente également une source d'information intéressante en vue de l'encouragement du réemploi dans le secteur de la construction[73]. Nous aborderons ultérieurement la question de la place du réemploi dans le travail du concepteur au point 2.8.

Recyclage

Le recyclage est défini quant à lui comme *toute opération de valorisation par réintroduction dans un processus de production par laquelle les déchets sont retraités en produits, substances, matières aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins*[74]. Ne sont pas compris comme processus de recyclage: la valorisation énergétique, les opérations de remblayage, la conversion comme combustible. Il s'agit en réalité d'introduire des matières en fin de vie dans de nouveaux cycles nécessitant une transformation physique ou chimique préalable. L'avantage du recyclage est double: il réduit le volume des déchets (devenus matière première secondaire) en les substituant aux matières premières qui devraient sinon être extraites, réduisant ainsi la pression exercée sur les ressources naturelles. L'expansion actuelle du recyclage est

72 -Se référer au chapitre sur les *Outils et références non réglementaires*: Etude des opportunités de la filières des matériaux de réemploi dans les projets d'économie sociale, projet Activation des filières, Guide du réemploi, projet Ecopôle (lancé par Bruxelles Propreté), etc.

73 - Autres exemples de pratiques de réemploi dans le secteur des entreprises de réemploi: *Ellis & Moore Llp (UK), De Kringwinkel Zuiderkempen (RF), All-in-Build,... ; et dans le secteur des entreprises d'économie sociale: Croisade contre la pauvreté asbl (RW), Retrival scrl (RW), ...*

74 - Définition légale selon la Directive Cadre de 2008.

la conséquence de plusieurs paramètres que sont la consommation sans cesse croissante de ressources (suivant entre autres la croissance démographique) combinée à un épuisement progressif de ces dernières et une dépendance en approvisionnement de nos pays, tout en y ajoutant les impacts environnementaux importants que constitue l'exploitation de ces ressources.

Néanmoins, il est important de pouvoir distinguer certains termes dans le recyclage. Ainsi le *downcycling* consiste à utiliser des matières premières secondaires dans la production de produits de qualité et de fonction inférieures à celles initialement proposées par le produit recyclé. C'est le cas par exemple du béton recyclé lorsque ses granulats recyclés sont utilisés à des fins de remblais ou de sous-couche de fondation. L'*upcycling* par contre propose de transformer les déchets et de les réintroduire dans un processus de production en vue de fabriquer des produits de qualité supérieure au produit initialement déchet ou possédant une valeur environnementale plus élevée[75]. C'est l'objectif défini dans la première partie par le *Cradle to Cradle*. Le recyclage pourrait juste se situer entre ces deux penchants, à savoir réintroduire les matières premières secondaires dans le processus de production de produits similaires ayant la même fonction que le matériau de base recyclé. Nous souhaitons préciser un dernier point en ce qui concerne le recyclage. En effet, de nombreux fabricants présentent leurs matériaux sur le marché comme 100% recyclables. Même si en théorie ces produits sont effectivement recyclables, cela ne signifie pas pour autant qu'ils soient recyclés en fin de vie. Nous parlerons de *recyclage effectif* pour désigner les produits recyclables réellement recyclés en fin de course.

D'après le « Registre des déchets », le taux de recyclage des déchets de C&D en Région de Bruxelles-Capitale avoisine les 80%, soit 10% de plus que les objectifs européens annoncés. L'objectif du 4e plan déchet pour la RBC défini un taux de recyclage des déchets de C&D de 90% en poids, cette ambition semble donc presque atteinte. Ces chiffres sont principalement dus aux inertes qui représentent environ 90 à 95% en poids des déchets de C&D. Or, nous l'avons mentionné précédemment, il existe actuellement en RBC une obligation de recyclage pour la fraction pierreuse. Les métaux, et dans une moindre mesure les bois, sont également récupérés en vue de leur recyclage. Les réglementations mises en place (pour les inertes) jouent donc un rôle prépondérant dans l'effectivité du recyclage des déchets de C&D en région bruxelloise. Cependant, qu'adviendra-t-il de cette performance de recyclage avec l'évolution de la proportion des autres fractions ? Les inertes garderont certes une part importante grâce à leur poids conséquent, mais d'autres types de matériaux, comme les matériaux composites ou les isolants de plus en plus usités, devront également être pris en considération dans l'atteinte de ces performances de recyclage. Il est donc primordial d'accorder une attention particulière au recyclage ultérieur de toutes ces fractions.

75 - Définitions inspirées de la thèse de Sophie TRACHTE [TRACHTE, 2012].

Valorisation énergétique

La valorisation énergétique concerne *toute opération visant à récupérer l'énergie produite lors de l'incinération des déchets par la transformation de la chaleur produite en électricité*. L'avantage de cette opération est double: elle permet de réduire considérablement les volumes de déchets, certains résidus d'incinération sont en outre récupérés comme matières premières secondaires (ex:machefers dans l'industrie du ciment), et l'opération permet de produire de l'électricité. Cependant, les fumées dégagées par l'opération ne sont pas inoffensives au niveau environnemental et sanitaire. Et malgré des évolutions réglementaires et technologiques[76], l'incinération n'en reste pas moins un procédé polluant. Aujourd'hui, les incinérateurs sont plus communément appelés Unités de Valorisation Énergétique (UVE). L'incinération avec valorisation énergétique en avant-dernière position dans la hiérarchie d'action, elle est donc à privilégier à la mise en décharge ou à la simple incinération (sans récupération de chaleur).

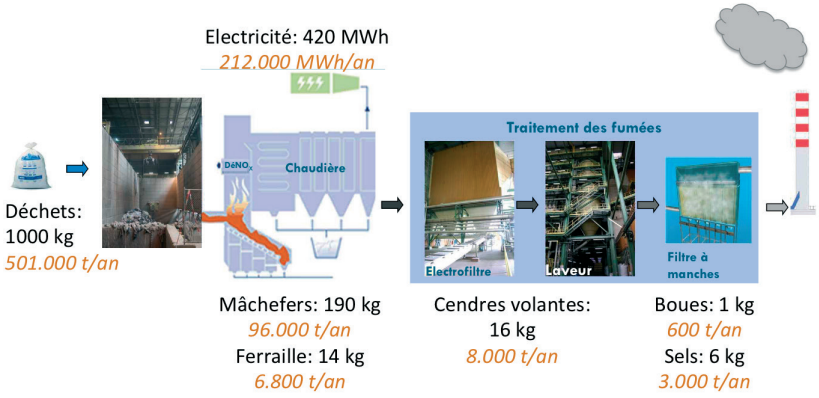
La Belgique compte aujourd'hui environ quinze unités de valorisation énergétique principalement situées en Flandre. Il existe également une unité de valorisation énergétique en région bruxelloise, elle se situe à Neder-Over-Hembeek. Depuis les années '90, les quantités acceptées à l'incinérateur régional ont dépassé les 500.000 t/an avec 501.000 tonnes de déchets en 2008 contre 533.583 tonnes en 2001. Les résidus solides de l'incinération correspondent à environ 137.000 tonnes en 2005. Ces derniers sont majoritairement exportés hors de la Belgique vers l'Allemagne (9,3%) et les Pays-Bas (84%). Le reste constitue des résidus de ferraille récupérés pour la sidérurgie et moins de 1% de composants polluants sont compactés et envoyés vers les centres d'enfouissement techniques (CET). La vapeur produite par l'incinération est récupérée pour la production d'électricité. Cette production était de 261.123 kWh en 2005 et 212.000 MWh en 2008 [IBGE, 2008].Les activités de l'UVE bruxelloise (quantité incinérée et énergie produite) semblent relativement stables.

Néanmoins, il est nécessaire de préciser que de gros investissements ont été alloués au développement de cette unité de valorisation et de ses capacités. D'autant que la RBC ne possède à l'heure actuelle aucun centre de recyclage ou centre d'enfouissement technique. Elle dépend donc des autres régions pour ces traitements. En outre, le détournement des flux de déchets vers d'autres valorisations situées plus en amont dans la hiérarchie d'action constitue une « perte » pour l'unité de valorisation dont la production et l'utilisation doivent pouvoir être rentabilisées. Nous faisons donc face à la difficulté de faire converger les investissements en infrastructures lourdes réalisés par le passé (à une époque où les alternatives actuelles étaient

76 - La Directive 2000/76/CE du Parlement Européen et du Conseil du 4 décembre 2000 relative à l'incinération des déchets a été remplacée définitivement le 7 janvier 2014 par la Directive 2010/75/CE du Parlement Européen et du Conseil du 24 novembre 2010 et relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution).

moins développées) avec les évolutions en matière de gestion des déchets et de valorisation de ces derniers (réemploi, recyclage).

Figure 2.11: Chaine de traitement des déchets à l'incinérateur régional (RBC)



Source: Formation bâtiments durables 2012 (IBGE), module déchets:
incinération des déchets ménagers et assimilés en Belgique (présentation de Aurore De Boom, ULB)

Valorisation organique

La valorisation organique consiste en une installation de traitement organique des déchets se basant sur les caractéristiques de décomposition de ces derniers. Deux procédés peuvent être mis en oeuvre dans le cadre d'une valorisation organique[77]:

- le compostage qui est une fermentation aérobie contrôlée produisant du gaz carbonique, de la chaleur et un résidu organique (le compost) pouvant être utilisé à l'enrichissement des terres.
- la méthanisation qui est une fermentation anaérobie (c'est-à-dire en l'absence d'air) produisant du biogaz utilisé pour la production d'électricité et/ou de chaleur et un résidu organique, appelé digestat, et servant à l'enrichissement des terres agricoles.

Les déchets envoyés vers la valorisation organique sont principalement fermentescibles c'est-à-dire qu'ils sont capables de dégradation biologique: ils sont composés de matières organiques ayant la propriété de réagir chimiquement en présence d'air ou en l'absence d'air. Dans le cas de la méthanisation principalement, ces déchets sont généralement préalablement broyés. Les déchets concernés à l'heure actuelle par la valorisation organique proviennent essentiellement de l'industrie agroalimentaire, de l'industrie papetière ou de l'épuration des eaux. Les déchets de construction semblent donc peu concernés. Néanmoins, certains matériaux présentent cette capacité de biodégradation (bois, certains isolants naturels), nous ne fermons donc pas la porte à ce type de valorisation pour le secteur de la construction même s'ils

77 - Source: www.cercle-recyclage.asso.fr.

soulèvent de nombreuses questions notamment par rapport aux adjuvants utilisés. Il s'agit donc d'une piste potentielle, mais non vérifiée.

2.7.5. Élimination

L'élimination concerne toute opération de destruction des déchets sans valorisation ou stockage final de ces derniers[78]. L'élimination concerne aussi bien l'incinération sans valorisation énergétique (quasiment plus d'application) que la mise en décharge. Cette dernière est en général réalisée par le dépôt des déchets en Centre d'Enfouissement Techniques (CET). La mise en décharge, ou en CET, est définie comme le dépôt de déchet sur ou dans la terre, y compris la mise en décharge spécialement aménagée et le stockage temporaire de plus d'un an sur des sites permanents[79]. Ces sites sont soumis à autorisation et doivent répondre à diverses contraintes réglementaires d'exploitation visant à maîtriser les impacts du procédé d'élimination sur l'homme et son environnement (eau, air, sols, bruit...). Les CET sont classés en fonction de l'origine et de la nature des déchets qu'ils peuvent accueillir. Il en existe cinq classes:

- la classe 1 pour les déchets industriels dangereux non toxiques,
- la classe 2 pour les déchets (industriels et ménagers) non dangereux et non toxiques,
- la classe 3 pour les déchets inertes,
- la classe 4 pour les matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage
- la classe 5 pour les déchets réservés à une entreprise (dangereux, non dangereux, inertes)

La Région de Bruxelles-Capitale ne disposant d'aucune zone de décharge, elle exporte vers les deux autres régions, voire d'autres pays, ses résidus non valorisables. La mise en décharge ou en CET est l'action située en dernier lieu sur l'échelle de la hiérarchie des déchets[80], elle est donc à éviter. Dans la mesure du possible, le volume des déchets est préalablement réduit en incinération et compacté. Depuis plusieurs années, différentes mesures ont été prises pour limiter le recours à la mise en décharge (pratique pourtant initialement répandue). La première vise un système de taxation dissuasif. Ainsi entre 2008 et 2010, les prix de mise en décharge pour les déchets non dangereux encore valorisables ont été multipliés par dix. Concernant le même type de déchet, mais non valorisable, ce prix est près de trois fois supérieur en 2010 par rapport au prix de 2008. La figure ci-dessous montre l'impact de ce système de taxation sur la réduction de la mise en décharge. Une autre mesure concerne l'interdiction de la mise en décharge pour tous déchets encore valorisables (nécessi-

78 - Toute opération prévue à l'Annexe II du Décret du 27 juin 1996 relatif aux déchets et toute opération définie par le Gouvernement conformément aux dispositions européennes en vigueur.

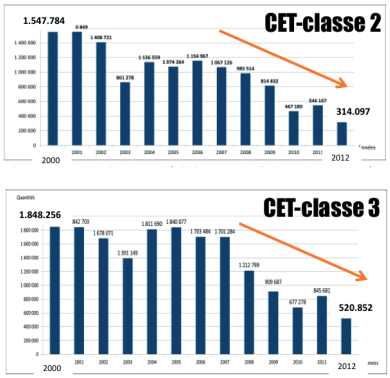
79 - Données disponibles sur le site http://economie.fgov.be

80 - Source: Directive 2008/98/CE

té de valorisation préalable).En effet, depuis 2010, la mise en décharge en Région Wallonne n'accepte par exemple plus que les déchets ultimes. Ces diverses mesures réglementaires ont permis de faire changer les pratiques et de réduire considérablement l'élimination en décharge. Néanmoins, en considérant les théories développées en première partie de cette recherche, le meilleur objectif à viser serait d'éliminer la mise en décharge. Les progrès pour y arriver sont encore nombreux.

Figure 2.12: Politique de taxation pour la mise en décharge

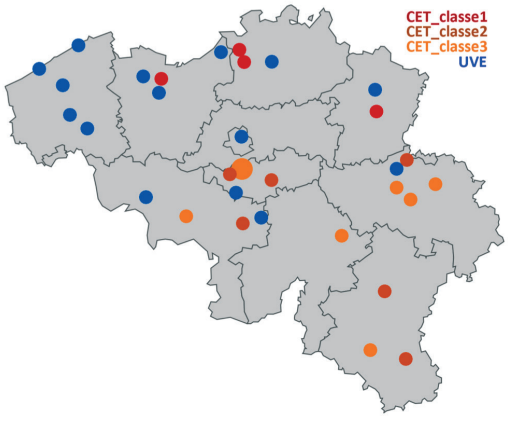
	Incinération		Mise en décharge	
	TAXE: modification de 2008 à 2010 en €/t			
Déchet non-dangereux	Sans récup	**10 -> 25**	Non-ménager	**35 -> 60**
	Avec récup	**3 -> 6**	ménager	**20 -> 60**
Déchet dangereux	Sans récup	**15 -> 30**	Non-ménager	**40 -> 65**
	Avec récup	**10 -> 12**	ménager	**25 -> 65**



Source: Données OWD - Taxe (les quantités 2012 ne couvrent que les 6 premiers mois de l'année)

À titre informatif et de façon non exhaustive, nous avons repris une cartographie des différents centres d'enfouissement technique (CET) en Belgique concernant les 3 premières classes. Nous y avons ajouté les unités de valorisation énergétiques (UVE).

Figure 2.13: Cartographie des centres d'enfouissement technique (CET) et unités de valorisation énergétique (UVE) en Belgique



2.8. L'ARCHITECTE, VALORISATEUR

Nous avons mentionné dans le chapitre sur les acteurs le manque de sensibilisation des concepteurs à la problématique du déchet et des ressources. Néanmoins, ce n'est pas le cas de tous les architectes puisque certains ont déjà intégré cette problématique dans leur démarche. Outre convaincre le MO d'emprunter également cette approche, si ce dernier n'est pas déjà convaincu, le travail de ces architectes va principalement se référer au choix des matériaux et des modes constructifs tout en favorisant le dialogue et la compréhension avec l'entrepreneur responsable des travaux. Plusieurs raisons poussent ces architectes à valoriser les « déchets » comme « ressources » et différentes méthodes sont utilisées. Certains en font une marque de fabrique propre, une sorte de signature que les clients se présentant à leur porte viennent rechercher. D'autres le font par conviction, à leur échelle, sans pour autant « vendre » cette image. Quelques-uns s'inscrivent dans une démarche purement sociale ou d'aide d'urgence alors que les derniers y voient un engagement politique (et souvent social également). Enfin, des concepteurs s'inscrivent également dans une démarche purement prospective d'adaptabilité et d'anticipation des changements ultérieurs permettant de limiter la production de déchets. Nous parlerons peu de ce dernier cas déjà présenté en partie 1 dans le cadre du *4Dimensional Design*. Pour l'ensemble de ces architectes valorisateurs, et quelle que soit la démarche poursuivie, ils opèrent en général de deux façons différentes, mais également complémentaires que nous allons aborder ci-après.

2.8.1. Quels sont les déchets in situ pouvant représenter des ressources matérielles ?

Cette question constitue la première étape que tout architecte devrait être amené à considérer lors de tout projet. Beaucoup le pratiquent d'ailleurs par la conservation des éléments en place sans réellement s'inscrire consciemment dans une démarche relative à la prévention de la production de déchet. Outre la conservation plus largement pratiquée et qui concerne plus la prévention que la valorisation des déchets comme ressources, nous pensons plutôt à la pratique de réemploi (ou éventuellement de recyclage) des éléments sur site. Les questions à se poser sont « que m'offre le bâtiment, le site ? » et « les matériaux sont-ils en état d'être réemployés: comment, pour quoi et où ? ».

Nous citerons ici deux exemples de projets ayant pratiqué cette approche. Le premier concerne la rénovation de l'Athénée Riva Bella à Braine l'Alleud par le bureau AA-AR. Les architectes, dans ce cas de bâtiment semi-préfabriqué à plan libre (structure de colonnes et plateaux) datant des années '70, proposent une double approche de réemploi: démonter et remonter des éléments existants pour la même fonction ou pour une autre fonction. Ainsi, les cloisons séparatives entre classes ont par exemple été démises en oeuvre et remontées en procédant à une amélioration de leurs per-

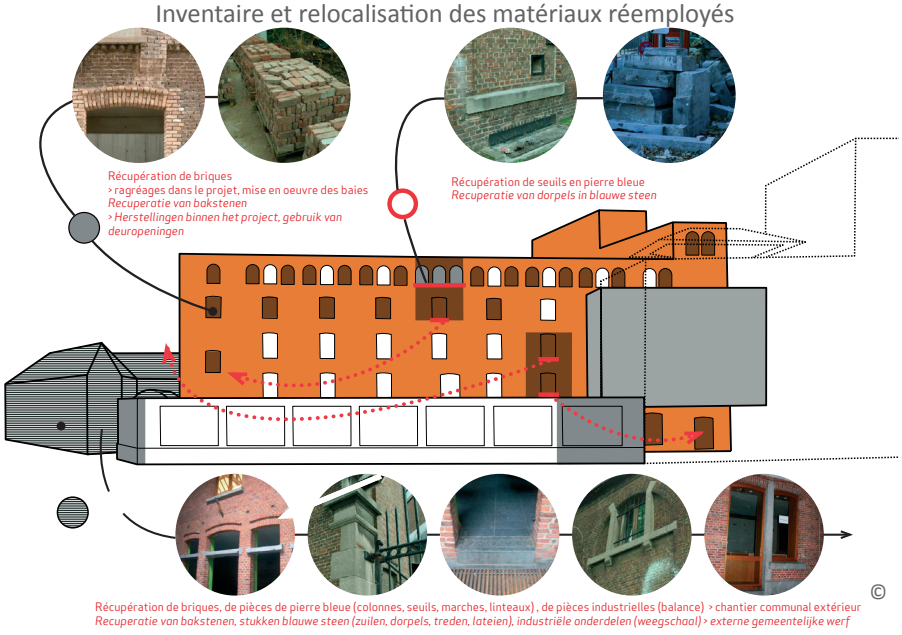
formances pour qu'elles puissent répondre aux normes acoustiques et d'incendie actuelles en vigueur. Pour pouvoir introduire ce type d'opération, les concepteurs ont d'abord dû comprendre le système de montage et démontage de ces parois légères et ont également réalisé des recherches sur les possibilités d'amélioration des performances avant de pouvoir introduire des articles spécifiques au cahier des charges. Outre les cloisons, les capots métalliques emballant les colonnes porteuses ont également été récupérés comme éléments de parement de façade extérieure. Ces capots présentent des marques d'usure, des graffitis, etc., symboles de leur utilisation antérieure dans le bâtiment et constituant un clin d'oeil à l'histoire de l'édifice. Le second exemple concerne la rénovation des brasseries Belle-Vue à Bruxelles par le bureau d'architecture L'Escaut. La conception de la rénovation de l'édifice prévoyait la démolition d'une partie des murs de briques pleines existants. Les architectes ont alors opté pour la récupération de ces briques pleines et leur réutilisation dans la fermeture de baies ou en finition de sol intérieur. Dans ce cas encore, la pratique de réemploi a dû faire l'objet de spécifications particulières au cahier des charges et a dû être clairement mentionnée dans l'appel d'offre. Le nettoyage des briques a néanmoins constitué un travail conséquent sous-estimé au départ par l'entrepreneur général et les concepteurs. Dans ces deux exemples, un inventaire précis des éléments récupérables a été réalisé préalablement à la conception du projet. Une compréhension de la manière dont ces éléments sont démontés et remontés est essentielle et doit faire l'objet, tout comme la manutention et le stockage, d'articles spécifiques au cahier des charges.

Figure 2.14: Rénovation de l'Athénée Riva Bella (Braine l'Alleud): parement extérieur et cloisons intérieures récupérés



Source: AA-AR (www.aa-ar.be)

Figure 2.15: Rénovation des Brasseries Belle-Vue (Bruxelles)
Inventaire et relocalisation des matériaux réemployés



Source: Bureau d'architecture L'Escaut
(présentation réalisée par Florence Hoffmann le 1er avril 2014 dans le cadre du programme de formation Bâtiment Durable/Gestion de chantier plus durable organisée par Bruxelles Environnement)

2.8.2. Quels sont les déchets produits à proximité pouvant représenter des ressources matérielles locales ?

Il s'agit ici d'une pratique peu utilisée par les architectes puisqu'il n'existe aucun « besoin » réel d'y avoir recours: pas (encore) de pénurie de ressources et de matières dans nos pays développés, pas de réglementation encourageant le réemploi de « déchets » locaux, le choix des matériaux est vaste, d'origine diverse et parfois lointaine, l'approvisionnement pour ces derniers ne représente pas vraiment un problème. Les déchets dont nous parlons ici comme ressources matérielles locales peuvent provenir de deux sources différentes: il s'agit soit de déchets de construction réutilisés aux mêmes ou à d'autres fins, soit de déchets provenant d'autres secteurs que celui de la construction, un détournement de leur fonction est alors inévitable.

Concernant l'emploi de déchets provenant d'autres secteurs comme matériaux de construction, nous citerons principalement deux exemples de bureau d'architecture en ayant fait leur activité principale. Le premier concerne SuperUse Studio aux Pays-Bas. La démarche de ce bureau est particulièrement intéressante puisqu'elle propose de partir des ressources/déchets disponibles localement comme point de départ de la conception. Il s'agit donc d'une approche inverse à l'approche classique

du concepteur qui conçoit le projet avant d'en choisir les matériaux constituants (même s'il a déjà peut-être une idée des matériaux qu'il va utiliser). Les architectes du bureau réalisent préalablement au projet une identification et une quantification des matières résiduelles à l'échelle régionale dont les informations sont reprises sous forme cartographique appelée également *Harvest Map*. Le bureau est également actif par la réalisation d'études et de recherches concernant, entre autres, la question de la substitution de flux de déchets au niveau urbain (recyclicity.org). Enfin, dans la même logique qu'opérée par la *Harvest Map*, SuperUse Studio a également créé une plateforme d'échange online appelée *Oogstkaart*[81] (similaire à la plateforme Opalis) permettant de localiser les différentes sources possibles de matériaux de réemploi (sinon déchets), leur quantité et leur disponibilité. Ces deux dernières informations ainsi que l'intégration de matières provenant d'autres secteurs que celui de la construction constituent les principales différences avec la plateforme Opalis. Le but est toujours de valoriser les déchets produits localement comme ressources potentielles. Le réemploi et la substitution de flux sont devenus l'activité principale de ce bureau.

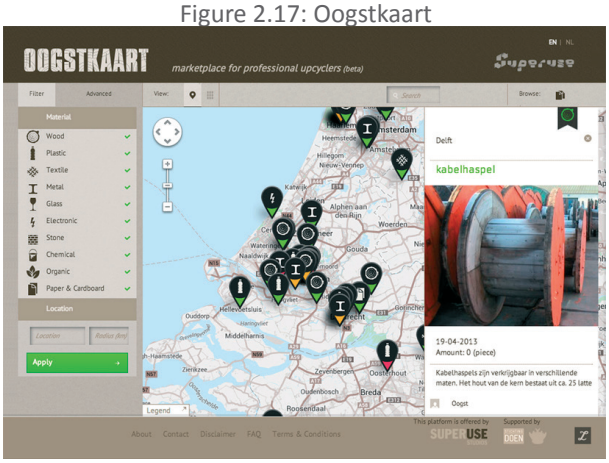
Figure 2.16: Harvest Map Rotterdam



Source: SuperUse Studio (http://superuse-studios.com)

81 - http://www.oogstkaart.nl/oogstkaart/ (*market place for professional upcyclers*)

Figure 2.17: Oogstkaart



Source: SuperUse Studio (http://superuse-studios.com)

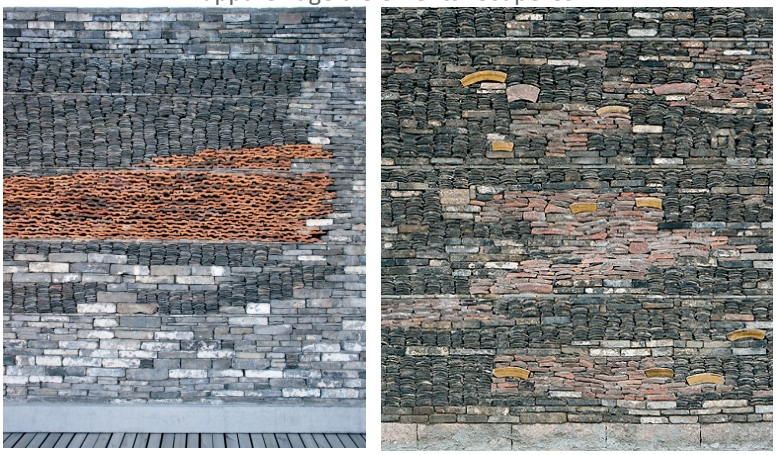
Le second exemple concerne le bureau Rural Studio aux États-Unis qui se base sur la récupération de déchets de tous types comme matériaux de construction pour la construction d'habitation, logements temporaires, aires de jeux et abris à très bas prix. Leur démarche combine à la fois approche pédagogique par l'investissement d'étudiants en architecture dans la réalisation et la mise en oeuvre des projets, et sociale par l'apport de réponses constructives aux besoins d'une population locale défavorisée. Les déchets ainsi réutilisés concernent aussi bien de vieux modules de carpette de bureau, que des pneus, pare-brise, vieux bidons, ballots de déchets de carton, poutres en bois, etc. Dans le cadre des projets réalisés, les déchets représentent des ressources locales gratuites mises en oeuvre par les habitants et les étudiants.

Dans cette optique de valorisation des déchets ou ressources locales, nous citerons également les démarches de Shigeru Ban, architecte japonais, pour ses interventions en matière de logements d'urgence réalisés à base de larges tubes en carton récupérés de l'industrie textile, et de Wang Shu, architecte chinois pour sa démarche politique et engagée renouant architecture vernaculaire et traditionnelle avec architecture contemporaine[82]. La démarche de ce dernier et de son bureau appelé *Amateur Architecture Studio* (nom faisant référence de manière ironique à l'architecture chinoise telle qu'appliquée à l'heure actuelle et se caractérisant par un manque de réflexion globale) supporte la « reconstruction contemporaine de l'architecture locale chinoise » notamment par le réemploi de matériaux traditionnels locaux portant une empreinte historique et culturelle dans une architecture résolument moderne. Un exemple représentatif de leur approche concerne entre autres le musée historique de Ningbo qui a été réalisé presque entièrement à base d'éléments de récupé-

82 - Ces deux architectes ont par ailleurs reçu chacun le prix Pritzker (prix d'architecture annuel décerné depuis 1979) pour la reconnaissance de leur oeuvre et leur engagement.

ration locaux (tuiles, pierres, et ressources locales comme le bambou).

Figure 2.18: Musée d'histoire de Ningbo (Wang Shu): appareillage d'éléments récupérés



Source: Archdaily (www.archdaily.com)

2.8.3. Quels sont les déchets ou ressources futurs que nous mettons en oeuvre aujourd'hui ?

Cette considération, rarement prise en compte par les bureaux d'architecture, mais également par les autres acteurs du secteur, constitue une des questions principales de ce travail. Les démarches présentées précédemment permettent effectivement de rallonger la durée de vie des produits en court-circuitant une partie des flux de déchets vers le réemploi et en augmentant la valeur des ressources locales. Elles s'inscrivent donc totalement dans un objectif de prévention et de réduction des déchets tout en diminuant la pression sur les ressources naturelles. L'étape suivante serait de poursuivre et de compléter cette approche par une vision plus prospective, vision que propose le *4Dimensional Design* abordé en partie 1. L'anticipation des déchets futurs occasionnés par les bâtiments que nous construisons aujourd'hui représente également un enjeu important pour tendre vers une économie plus circulaire et définie comme axe d'action par l'Europe. Dans la suite de ce travail, nous aborderons cette question par l'analyse du potentiel de matière que peuvent représenter des solutions d'amélioration thermique de parois couramment rencontrées dans la rénovation durable à Bruxelles.

2.9. CONCLUSIONS

Cette partie de la recherche nous a permis d'appréhender le déchet dans toute sa complexité, sa richesse, mais aussi en considérant les lacunes de notre système actuel. Cette compréhension du contexte lié au déchet de C&D nous apparaissait comme indispensable pour pouvoir aborder le déchet comme une ressource potentielle. La problématique du déchet peut être abordée sous différents angles. Le « flou » réglementaire parfois présent et l'inertie au changement du secteur de la construction peuvent constituer des obstacles à l'évolution des pratiques de conception, de collaboration, de gestion telle que décrite dans cette deuxième partie. Nous pourrions tout aussi bien considérer cette situation comme un défi à relever, une opportunité de changement et un moyen pour les concepteurs d'explorer de nouvelles pistes de créativité.

Dans un premier temps, nous avons pu observer le caractère imprécis de la signification du terme « déchet », ainsi que les nombreuses formes et natures conduisant à ses diverses déclinaisons. Nous avons proposé pour notre part de considérer le déchet comme un état transitoire, une étape dans le cycle de vie d'un matériau en attente d'une revalorisation. Il est même question de considérer les déchets réutilisables comme une nouvelle famille de matériaux.

Nous avons également pu observer que la notion de déchet n'est pas neuve et que l'homme, de tout temps, a été responsable de la production de résidus. La gestion de ces derniers, et la valeur qu'ils représentaient n'étaient cependant pas les mêmes qu'aujourd'hui[83]. Sabine BARLES présente la problématique du déchet comme une conséquence directe de l'urbanisation croissante.Pourtant, il fut un temps où les excrétas des villes servaient de matières premières à l'industrie et l'agriculture. Alors pourquoi cet « équilibre », cette symbiose pour reprendre le terme de l'écologie industrielle, a-t-il été rompu ? Différents paramètres sont en cause. L'expansion des villes et de leur population, la technicité croissante de nos systèmes de production basés sur le modèle productiviste et l'éloignement de l'industrie par rapport aux centres urbains, le développement de nouveaux procédés de fertilisation (plus rentables, mais appauvrissant et polluant nos sols) ont eu pour conséquence une production croissante de déchets à traiter et à éliminer. Le courant hygiéniste du XIXe siècle a certes apporté de grandes avancées pour endiguer les problèmes sanitaires liés à la quantité croissante de déchets à entreposer, comme les réseaux d'égouttage, la collecte des détritus, le traitement des eaux usées, etc. Mais, il a également contribué à la stigmatisation du déchet comme étant impropre et sans valeur. Aujourd'hui encore nous ne mesurons pas l'étendue de la production de nos déchets puisqu'ils « disparaissent » de notre quotidien par la chasse d'eau ou le ramassage des poubelles sans que nous ayons une idée de ce qu'il adviendra d'eux. Il existe donc une sorte de « déresponsabilisation » du citoyen face à l'impact de sa consommation et

83 - Nous considérons ici le cas de nos pays européens industrialisés

des rejets que celle-ci provoque. La valorisation des déchets trouve aujourd'hui sa source dans la prise de conscience des enjeux environnementaux actuels. Alors, le déchet comme nouvelle matière première, concept utopique ou réaliste ?

En abordant le cadre réglementaire du déchet de C&D, nous avons pu remarquer que la législation en la matière est florissante, mais pas encore suffisamment claire face à la complexité du sujet: à partir de quand et comment un déchet redevient produit ou matière première secondaire, où se situe la frontière ? Certains grands axes peuvent cependant être retenus comme le principe du pollueur-payeur défini par la loi-cadre de 1975, ou encore la hiérarchie d'action de la Directive Cadre de 2008 fixant la prévention, la préparation en vue du réemploi et le recyclage en haut de la chaine d'action avant la valorisation énergétique et l'élimination. La prévention et la réduction des effets de l'élimination des déchets sur l'environnement et la santé font l'objet de différentes directives et arrêtés relatifs à la mise en décharge et l'incinération. Les règlementations sont également plus strictes et plus précises pour certains flux spécifiques comme les déchets dangereux (piles et accumulateurs, amiante,etc.), les déchets d'emballage, les huiles usagées, les papiers et cartons, les fractions pierreuses, etc. La responsabilité élargie des producteurs (REP) se traduisant par l'obligation de reprise pour certains flux particuliers est également mentionnée dans plusieurs directives, ordonnances et arrêtés. L'obligation de reprise, de collecte, de valorisation ou d'élimination est un instrument précieux puisqu'il permet de responsabiliser les producteurs face aux produits qu'ils mettent sur le marché. Les coûts de traitement en fin de vie, sous-entendant l'efficacité de ce dernier, doivent alors être incorporés dès la conception des produits rejoignant le principe d'écodesign développé en partie 1.

Nous avons également spécifié que les causes de génération des déchets sont diverses et apparaissent aux différents stades du cycle de vie du bâtiment. La phase de conception, de par sa position en amont de la hiérarchie d'action, est sans doute celle qui peut impacter le plus la qualité et la quantité des déchets produits. Concernant le traitement des déchets, les multiples étapes de la chaine de gestion constituent, dans certains cas, des filières bien développées, alors que d'autres tendent à se renforcer, se créer et s'étendre. Prenons l'exemple du démantèlement sélectif, du tri sélectif poussé in situ et du réemploi, ils représentent des filières à renforcer et des pratiques à encourager. Quant à la filière du recyclage, elle pourrait être améliorée et optimisée dans le cas de certaines fractions (bois, inertes...), voire être créée pour certains autres types de flux (ex.: isolants). De façon générale, quelle que soit la fraction considérée, l'élimination par mise en décharge représente de loin l'opération la plus coûteuse au niveau environnemental, sanitaire, mais aussi financier (à cause de la réglementation et de la taxation y étant appliquées). Les acteurs du secteur de la construction ont bien évidemment un rôle à jouer dans l'application d'une meilleure prévention et gestion des déchets. Or, nous observons une certaine déresponsabilisation des intervenants. En effet, il existe à l'heure actuelle un flou sur la responsa-

bilité de chaque acteur face à la génération de déchets de C&D, bien que la pratique courante veuille que ce soit l'entreprise en charge des démolitions qui s'occupe de l'évacuation et de la gestion des déchets sur chantier. Concernant cette pratique, il n'existe que peu de contrôle du maître d'ouvrage et de l'architecte (sauf dans le cas d'obligations règlementaires comme les déchets dangereux). La législation pourrait apporter quelques précisions afin de clarifier cette situation pour tendre vers une gestion plus optimale. En outre, l'intervention des différents acteurs se fait généralement de manière fragmentée et compartimentée suivant une approche linéaire du projet. À chaque « passage » ou arrivée de nouveaux intervenants, des erreurs peuvent se produire et engendrer ensuite des conséquences sur la production de déchets (mauvaise coordination, manque de communication, etc.). Pour influencer la nature des déchets, prévenir et minimiser les quantités produites, il apparait essentiel que les différents intervenants collaborent le plus en amont possible afin de tendre vers une approche qui pourrait être qualifiée de dynamique et intégrée.

Depuis quelques années, la Région de Bruxelles-Capitale investit dans l'élaboration de nombreux outils, études et actions pour encourager la prévention et une meilleure gestion et valorisation (notamment par le réemploi) des déchets de C&D. Cependant, il persiste un manque de données concernant la qualité et les quantités de flux de déchets générés à la source, c'est-à-dire sur chantier (soit la production en amont). Une politique efficace en matière de prévention, de réduction et de réutilisation des déchets de C&D ne peut être envisagée qu'en ayant une bonne compréhension des dynamiques de flux engendrées par la rénovation, la démolition et la construction. Une connaissance approfondie du secteur et de ses filières ainsi qu'une traçabilité au niveau des productions et échanges internes et externes aux chantiers et à la région (à plus grande échelle) sont également essentielles.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la troisième et prochaine partie de la recherche. Nous y proposons d'aborder la question des dynamiques de flux engendrées par la rénovation énergétique et durable en RBC, ainsi que leur impact sur les stocks de matières contenues dans les bâtiments. Il s'agit donc d'apporter un premier élément de réponse face au manque de données observées, mais pourtant indispensables pour tendre vers une gestion optimisée de nos déchets et ressources locales.

PARTIE 3:

BILAN MATIÈRE

Stocks et flux potentiels de matière
engendrés par la rénovation énergétique

3.0. INTRODUCTION

La Région de Bruxelles-Capitale (RBC) se caractérise par une urbanisation croissante et donc une demande en logement suivant cette tendance. Le secteur résidentiel est par ailleurs le secteur le plus représenté dans la région. La ville se définit également par sa densité urbaine et son patrimoine immobilier ancien. Ce dernier est responsable de 62% des émissions de gaz à effet de serre (secteurs tertiaire et résidentiel confondus) et représente une forte consommation d'énergie: plus de 35% de la consommation d'énergie de plusieurs pays européens. En outre, le secteur de la construction et démolition (C&D) est un des plus gros producteurs de déchets en RBC et dans de nombreux autres pays.

Alors que l'Union Européenne se fixe des objectifs pour 2020 de 20% de réduction des émissions de CO_2, de 20% d'augmentation du recours aux énergies renouvelables et de 20% de croissance dans l'efficacité énergétique de son parc bâti, la « capitale de l'Europe » se veut être un exemple en matière de ville durable. En matière d'émissions de CO_2, la région ambitionne une diminution de 30% à l'horizon 2025 par rapport à 1990[1]. En ce qui concerne le secteur de la construction, les nouveaux bâtiments publics doivent déjà répondre aux standards passifs depuis 2010, alors qu'une adaptation des exigences PEB « exigences PEB - passif pour 2015 » est d'application depuis le 1er janvier 2015[2]. L'ordonnance sur la Performance Énergétique des Bâtiments (OPEB) d'application depuis 2008 a également été remplacée ce 1er janvier 2015 par le Code Bruxellois de l'Air, du Climat et de la maîtrise de l'Énergie (CoBrACE). Par ailleurs, la région bruxelloise travaille toujours actuellement, en partenariat avec la Région Wallonne et la Région Flamande, à l'élaboration d'un référentiel pour une construction durable (REF-B).

Dans ce contexte de développement urbain où la rénovation et la réhabilitation d'anciens bâtiments représentent un défi majeur en termes démographique et énergétique, la minimisation de la production de déchets et de l'utilisation des ressources ainsi que la valorisation optimale des matériaux en fin de vie prennent toute leur importance. Pour atteindre cette valorisation optimale, les matériaux doivent pouvoir être démontés ou séparés en fractions pures, recyclables et réutilisables. C'est pourquoi il est indispensable d'identifier préalablement au début des travaux le potentiel offert par la construction en matière de réemployabilité, recyclabilité ou contamination à éliminer [IBGE, 2010_A]. Mais les politiques actuelles mettent surtout l'accent sur la diminution des consommations énergétiques des bâtiments. Cette démarche,

1 - Déclaration Gouvernementale de la RBC pour 2009-2014

2 - Ces exigences ont été adoptées, après négociations et concertation entre les acteurs du secteur et le cabinet ministériel, par l'arrêté du 21 février 2013 du GRBC (modifiant l'arrêté du 21 décembre 2007). Les exigences ont été "assouplies" par rapport à l'arrêté initial, notamment en ce qui concerne l'étanchéité à l'air (report de 3 ans - 2018), la rénovation >75%, la consommation d'énergie primaire pour le secteur tertiaire et une possibilité de dérogation automatique pour les configurations défavorisées (apport solaire, compacité,...).

tout à fait justifiée, possède pourtant ses limites puisqu'elle ne considère que la phase d'exploitation du bâtiment sous un angle énergétique. Elle omet donc de considérer l'impact des interventions de rénovation/construction sur les consommations de ressources et d'énergie en amont et en aval de la phase d'exploitation (lors des phases de fabrication, construction, démolition, traitement en fin de vie). Pour répondre à ces considérations, les analyses de cycle de vie et d'impacts environnementaux (énergie grise) des matériaux représentent des pratiques de plus en plus courantes[3]. Elles permettent ainsi à l'architecte et au maître d'ouvrage d'effectuer des choix de matériaux plus « conscients » bien que l'interprétation des résultats ne soit pas toujours chose aisée. Cette approche étudie essentiellement l'échelle des matériaux or ,leur assemblage et mise en oeuvre en composantes ou systèmes constituent des éléments complexes de la construction présentant des impacts spécifiques[4]. L'outil Be Global développé par la Plateforme Maison Passive tente de répondre en partie à cette question puisqu'il propose l'évaluation de l'ensemble du bâtiment, mais en ne considérant que l'indicateur d'énergie grise, ce qui est relativement limité au niveau du bilan environnemental global.

Ensuite, au regard des exigences actuelles, la rénovation ou la démolition/reconstruction du bâti existant signifient, outre l'amélioration de leur performance, des conséquences sur les importations et les exportations de matières. Les objectifs ambitieux de la RBC en matière d'amélioration des performances énergétiques des bâtiments dans une démarche durable vont irrémédiablement influencer la nature et les quantités des flux de matière à l'échelle de la région. À l'heure actuelle, les données concernant les dynamiques de flux et la modification des stocks matériels engendrés par la rénovation des bâtiments font défaut. Or, la connaissance de ces stocks et flux apparaît incontournable pour prétendre à une économie plus circulaire réduisant la quantité de déchets produits par une substitution vers des filières de valorisation. Dans cette partie de la recherche, nous proposons d'aborder cette question en partant de l'unité bâtie et en analysant l'impact de sa réhabilitation énergétique sur les stocks et flux de matière.

3.1. OBJECTIFS ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Dans le cadre du séminaire « *Be circular, be Brussels* » organisé le 1er décembre 2014, une étude du métabolisme de la RBC a été présentée[5]. Cette étude, relati-

3 - De nombreuses études sont d'ailleurs menées dans ce cadre: LCC financé par le Bureau de normalisation et le SPF Economie, SUFFIQUAD subsidié par BELSPO, MMG (Bepalingsmethode materiaalmethodiek op gebouwelementniveau) commandé par l'OVAM, Projet fédéral étudiant le cycle de vie, EPD et PCR de 10 matériaux isolants intégrés dans une paroi, etc.

4 - Une étude relative à l'établissement de PCR (Product Category Rules) de matériaux isolants intégrés dans une paroi est actuellement en cours de réalisation et comprend l'analyse du cycle de vie et le bilan environnemental global (étude fédérale réalisée sous l'initiative du FOD Volksgezondheid, DG Leefmilieu dienst Productbeleid).

5 - Présentation et étude réalisées par Aristide ATHANASSIADIS de l'ULB-Bâtir.

vement novatrice pour la région bruxelloise, fait cependant état des difficultés de récolte de données concernant les stocks et flux matériels régionaux relatifs au secteur du bâtiment (entre autres). L'étude sur l'*analyse du gisement, des flux et des pratiques de prévention et de gestion des déchets de C&D en RBC*, commandée par Bruxelles Environnement arrivait également au même constat en 2012 avec la difficulté de faire correspondre données amont et données aval relatives aux quantités et natures de déchets générés.

Dans ce contexte, nous ne prétendons pas réaliser une étude statistique du métabolisme de la région bruxelloise telle que citée précédemment. Nous nous inscrivons plutôt dans une démarche complémentaire visant à répondre aux manques de données relatives au gisement et flux matériels que constitue la rénovation du bâti existant. Pour ce faire, nous avons opté pour une approche *bottom-up* qui part de l'analyse d'études de cas pour installer une méthode reproductible à d'autres projets. L'objectif de cette partie de la recherche vise donc à identifier et quantifier les matières en présence dans le bâtiment, ainsi qu'à qualifier et quantifier les flux de matières générés par la rénovation du bâti vers des critères de performances énergétiques élevés. Cette opération conduit à un nouvel état d'équilibre de la construction et des matériaux qui seront à la base des nouvelles interventions de rénovation ultérieures. La méthode appliquée se déroule en plusieurs étapes:

1. définir un **objet d'étude représentatif** de la Région de Bruxelles-Capitale. L'analyse s'est donc portée sur des bâtiments de logement mitoyens, construits avant 1945 et rénovés selon les critères du concours Bâtiments Exemplaires (BATEX): 23 projets répondant à l'objet d'étude ont été identifiés.
2. proposer une **décomposition du bâtiment** permettant une systématisation de l'approche. L'étude porte essentiellement sur l'enveloppe puisqu'il s'agit du premier système sur lequel il faut agir pour améliorer les performances énergétiques du bâti. Cette enveloppe est considérée comme une somme de composantes (façades, toiture, dalles) elles-mêmes constituées de couches ou layers différents : layers extérieur, structurel et intérieur. Ces layers sont par ailleurs composés de un à plusieurs matériaux différents.
3. analyser les **tendances d'intervention** des rénovations énergétiques en matière de démolitions opérées (conservation, démolition partielle ou complète) et d'isolation de l'enveloppe: 10 projets sur 23 ont été analysés.
4. dresser le bilan métabolique (en termes de matière) appelé aussi **bilan matière** de l'opération de rénovation par l'identification et la quantification des flux entrants (IN : matières neuves mises en œuvre) et sortants (OUT : déchets produits) ainsi que des stocks en présence avant et après rénovation. Cette approche permet par ailleurs de mettre en exergue l'impact de la transformation sur le stock matériel du bâtiment: 1 projet a été analysé.
5. introduire une **réflexion prospective** en matière de gestion des stocks et flux à l'échelle régionale. Sur base de ratios déterminés par la quantification des bilans

matières et sur base de taux de rénovation annuels envisagés, il serait en effet possible d'extrapoler les quantités de matières à gérer à échelle plus large. Cette proposition d'approche, bien que relativement théorique, met en lumière les potentialités d'un possible outil de planification (grâce aux ratios) dans le but de tendre vers une meilleure gestion des ressources et déchets matériels locaux.

3.2. DÉFINITION DE L'OBJET D'ÉTUDE

Dans le but de répondre aux enjeux et aux intérêts de la Région de Bruxelles-Capitale, le parti a été pris de concentrer la recherche sur un objet d'étude répondant au mieux aux spécificités et objectifs de la région. Nous nous sommes d'abord concentrés sur la définition de classification par types de bâtiments représentatifs sur le territoire régional. Nous avons ensuite défini le type d'intervention de rénovation à envisager, suivant principalement le critère d'objectif énergétique à atteindre.

3.2.1. Types de bâtiments représentatifs de la RBC

Bruxelles, densité et parc immobilier

La Région Bruxelles-Capitale s'étend sur une surface de 161 km^2 et se caractérise par une densité de population relativement élevée et surtout croissante depuis 1996. En 2012, la population s'élevait à 1.138.854 habitants atteignant ainsi un record régional de 70,7 hab/ha, soit environ 7.074 hab/km^2. Néanmoins, une inégalité de répartition est observée entre les communes du centre, plus peuplées, et celles de la périphérie, moins peuplées. La surface bâtie représente 56% du territoire bruxellois. Cette superficie a connu une augmentation de près de 9% entre 1992 et 2012, ayant pour conséquence une imperméabilisation progressive des sols de la région. Les plus fortes hausses d'urbanisation sont constatées pour les immeubles à appartements (+49%) et dans une moindre mesure, les bureaux (+27%), bâtiments publics (+19%), etc. Dans ce contexte, les statistiques cadastrales de 2012 montrent que les logements couvrent environ 37% de la superficie régionale, soit une augmentation estimée à 7% en 10 ans[6]. L'habitat constitue en effet l'affectation la plus importante du parc immobilier régional puisqu'elle représente près de 60% de la surface bâtie, soit un total de 62.305.038 m^2 [CERAA, 2008][7]. Il est à l'origine de 62% des consommations en énergie primaire de la région soit 167 kWh/m^2.an par affectation [CERAA, 2008][8]. Bruxelles comprend plus de 517.000 logements dont 47% sont des appartements et plus d'un logement sur quatre se situe dans un immeuble de 10 unités de logement ou plus. La configuration 4 façades ne représente que 1% des maisons bruxelloises, alors qu'il s'agit de la tendance résidentielle prédominante dans les

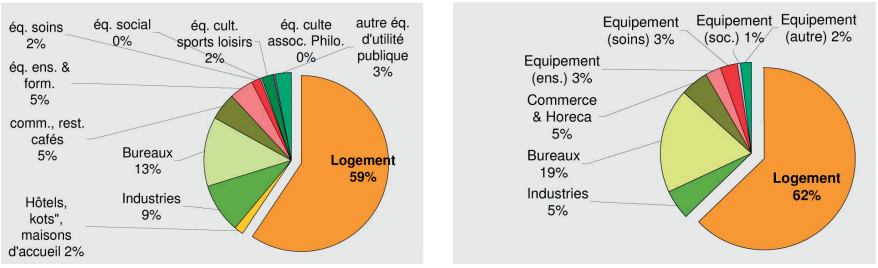
6 - Source: www.environnement.brussels

7 - Répartition par affectation sur base des données de la SitEx (1997-1998) .

8 - Répartition par consommation énergétique sur base du défi énergie et d'audits énergétiques réalisés par l'ABE (Agence Bruxelloise de l'Energie).

deux autres régions. Seulement 28% de la population occupent une maison unifamiliale, contre 75% en moyenne pour le pays, uniquement 37% ont accès a un jardin privé [IBGE, 2010_B].

Figure 3.1: Répartition des surfaces (à gauche) et des consommations totales d'énergie (à droite) par affectations en RBC



Source: [CERAA, 2008] (sur base des données de la SitEx 1997-1998 et de l'ABE)

Les prévisions estiment une augmentation croissante de la population avec 1,3 million d'habitants prévu pour 2023, soit 160.000 de plus qu'en 2013[9]. Cet accroissement s'accompagne d'une densification de plus en plus importante, mais également de problème d'ordre structurel: imperméabilisation des sols, manque de logements, d'écoles, de crèches, de homes, ... qui se combinent à un parc immobilier ancien et énergivore

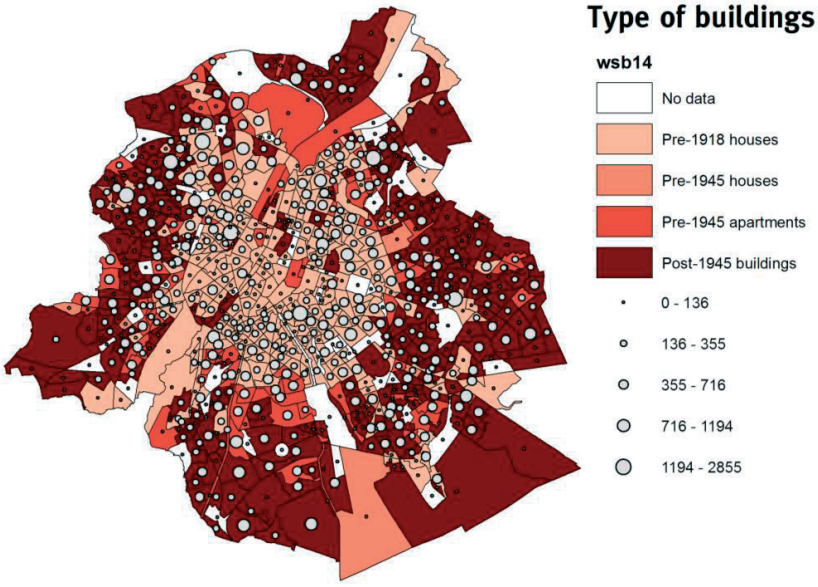
Types de bâtiments résidentiels représentatifs

Le parc immobilier de la Région de Bruxelles-Capitale s'est principalement construit durant ces deux derniers siècles. En effet, les habitations antérieures au XVIIIe siècle étaient construites en bois, interdit par après suite aux différents incendies dont ont été victimes les bâtiments de la ville. Le premier plan de développement à grande échelle de la ville est engagé fin du XIXe siècle. C'est à cette époque qu'apparaît également le type de la maison bourgeoise (sous forme de maison mitoyenne individuelle) si caractéristique de Bruxelles. Avant 1914, le développement urbain se caractérise principalement par la construction de ce type de logement mitoyen (de 2 à 3 pièces en enfilade). Entre 1920 et 1940, de nouveaux types d'habitation émergent avec l'extension de la ville: apparition de logements plus modestes pour la classe ouvrière et des cités jardin en périphérie, de même que l'apparition d'immeubles à appartements de différents standings (logements collectifs). Après la Seconde Guerre mondiale, les typologies bâties se diversifient de même que les matériaux et systèmes qui les composent. Les types d'habitat antérieurs à la Première Guerre mondiale sont prédominants dans la petite couronne alors que les bâtiments résidentiels postérieurs à 1945 sont plutôt présents en périphérie. Les constructions datant d'avant la Seconde Guerre mondiale constituent environ 65% du parc résidentiel et un peu plus de 50%

9 - Source: Bureau du Plan

de la surface de logement. Cela signifie que les édifices post-1945 concentrent un plus grand nombre de logements par entité bâtie: l'emprise au sol de ces bâtiments est réduite et le nombre important de m^2 se répartit alors sur le nombre d'étages (en hauteur). La faible proportion d'immeubles à appartement pré-1945 (1%) représente néanmoins 17% de la surface résidentielle bâtie [ATHANASSIADIS, 2014][10].

Figure 3.2: Répartition des types et nombres de bâtiments résidentiels par année de construction et par secteurs statistiques (2012)



	Buildings		Dwellings		m² built area	
	Number	%	Number	%	m²	%
Pre-1918 houses	57.855	38%	130.917	28%	16.347.828	28%
Pre-1945 houses	38.298	25%	73.729	16%	3.404.566	6%
Pre-1945 apartments	1.421	1%	11.500	2%	9.872.958	17%
Post-1945 buildings	55.228	36%	259.474	55%	27.787.294	48%
Total	152.802	100%	475.620	100%	57.412.646	100%

Source: B3Retrotool - Brussels Retrofit XL [ATHANASSIADIS, 2014]

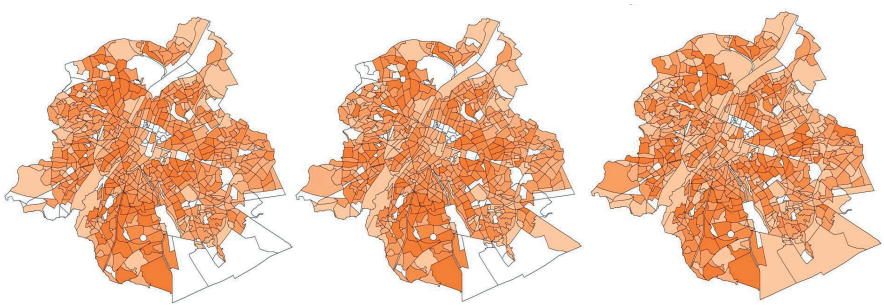
Le patrimoine résidentiel bâti de la région est donc particulièrement ancien et sa consommation énergétique importante (62%): entre 168 et 173 kWh/m^2.an estimés pour les bâtiments construits avant 1944, soit une consommation plus de onze fois supérieure à celle du standard passif [CERAA, 2008][11]. Sur base de l'identification et de la quantification des typologies résidentielles bâties, une estimation de la

10 - Les informations proviennent d'un article rédigé dans le cadre du projet B3Retrotool, financé par Innoviris et conduit par l'UCL (Architecture et Climat) et l'ULB (Bâtir).

11 - Sur base du défi énergie (engagement des habitants pour des économies d'énergie) et d'audits énergétiques réalisés par l'ABE (Agence Bruxelloise de l'Energie).

consommation énergétique (gaz et électricité) a été réalisée dans le cadre du projet B3Retrotool[12]. Cette estimation a été faite en considérant trois différents paramètres: le nombre d'habitants (à gauche) le nombre de m² (au milieu) et le nombre de bâtiments (à droite). Les graphiques suivants montrent de manière globale qu'il existe une consommation plus importante en périphérie et en seconde couronne qu'au centre. Ces résultats peuvent s'expliquer par une densité conséquente, mais également par la présence plus importante d'immeubles de bureaux au centre-ville. Les constructions d'habitation antérieures à 1945 sont responsables d'environ 67% de la consommation énergétique soit un peu plus de 50% en considérant la surface bâtie par m² [ATHANASSIADIS, 2014]. La rénovation du parc immobilier résidentiel antérieur à la Seconde Guerre mondiale constitue donc un enjeu majeur pour la RBC en matière de réduction des consommations énergétiques des bâtiments.

Figure 3.3: Estimation de la répartition des consommations énergétiques par secteurs statistiques (2011) et selon 3 facteurs (n^{bre}Hab,n^{bre} M², n^{bre} Bâtiments)



	Buildings		m² built area	
	MWh	%	MWh	%
Pre-1918 houses	3.375.099	36%	2.537.897	27%
Pre-1945 houses	891.231	10%	569.471	6%
Pre-1945 apartments	1.936.580	21%	1.701.671	18%
Post-1945 buildings	3.153.523	34%	4.503.557	48%
Total	9.356.432	100%	9.312.597	100%



Source: B3Retrotool - Brussels Retrofit XL [ATHANASSIADIS, 2014]

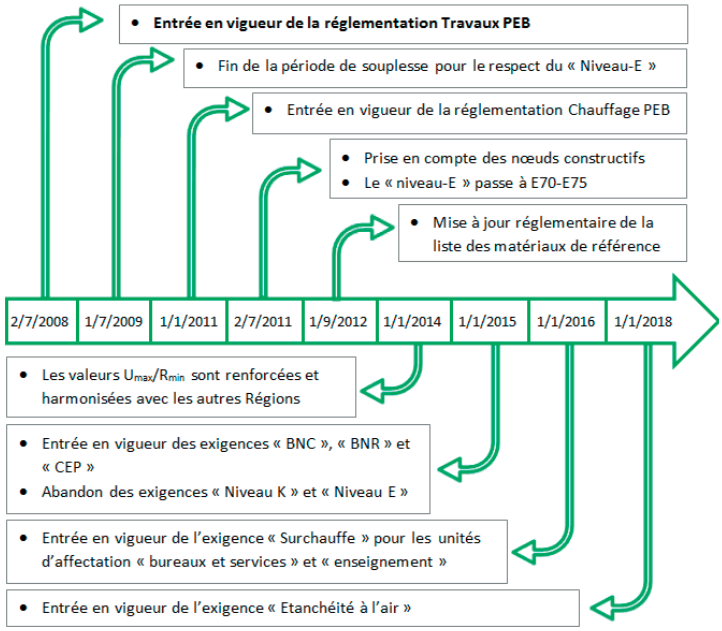
12 - Informations disponibles concernant le projet B3Retrotool sur: www.brusselsretrofitxl.be

3.2.2. Objectifs énergétiques de la RBC

L'Ordonnance pour la Performance Énergétique des Bâtiments (OPEB) (devenu CoBrACE depuis le 1er janvier 2015)

Depuis 2008, toute demande de permis est soumise à la réglementation PEB. Cette réglementation a fait l'objet de plusieurs modifications, adaptations et mises à jour progressives et c'est depuis récemment que de nouvelles exigences PEB inspirées du standard passif sont d'application[13]. L'Ordonnace PEB a été remplacée au même moment par le CoBrACE, le Code Bruxellois de l'Air, du Climat et de la maîtrise de l'Énergie. L'évolution de cette réglementation répond aux objectifs fixés par l'Europe concernant la performance énergétique des bâtiments[14]. La Directive européenne 2010/31/UE fixe en effet pour fin 2018 une consommation quasi nulle pour les bâtiments publics et des performances similaires sont attendues pour tous bâtiments neufs d'ici 2021.

Figure 3.4:Ligne du temps des modifications réglementaires liées aux exigences PEB



Source: Bruxelles Environnement

Les exigences sur la PEB concernent le besoin net en énergie pour le chauffage (BNC),

13 - L'arrêté du 21 février 2013 remplace ainsi l'arrêté du GRBC du 21 décembre 2007 d'application depuis le 2 juillet 2008.

14 - Directives 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments.

le besoin net en énergie pour le refroidissement (BNR - hors secteur résidentiel), la consommation en énergie primaire (CEP), l'étanchéité à l'air, la résistance thermique des parois (U_{max}/R_{min}), la ventilation, les noeuds constructifs, la surchauffe et les installations techniques. Ces exigences sont adaptées en fonction de l'affectation du bâtiment (habitation, bureaux, enseignement...) et du caractère neuf de la construction ou de l'importance de l'intervention sur l'existant (rénovation lourde ou simple). Pour les rénovations comportant moins de 75% d'intervention sur les surfaces de déperdition, seules les exigences de résistance thermique des parois et de ventilation sont d'application. Concernant les rénovations de plus de 75% d'intervention sur les surfaces de déperdition et remplaçant les installations techniques, elles sont considérées comme unités assimilées à du neuf (UAN). Elles sont alors soumises aux mêmes exigences que les bâtiments neufs moyennant un assouplissement de 20% pour les trois premières exigences (BNC, BNF, CEP). Cette mesure d'assouplissement a été prise suite aux difficultés pouvant être rencontrées dans la rénovation (par rapport à une construction neuve) et afin d'encourager ce type d'opération plutôt qu'une démolition/reconstruction.

Tableau 3.1: Résumé des exigences PEB pour les rénovations > 75%

Exigences pour l'unité *habitation individuelle* assimilée à du neuf (UAN)			
BNC (kWh/m².an)	(1,2) * 15 ou (1,2) * X	V	annexe VI
CEP (kWh/m².an)	(1,2) * 45 ou (1,2) * X	NC	annexe V
EA (n50) (àpd 2018)	(1,2) * 0,6	S	max 5% > 25°
U_{max}/R_{min}	voir ci-dessous	IT	annexe VIII

Le 'X' est une piste alternative de seuil d'exigence prévue pour les unités PEB dont la mauvaise orientation ou compacité rend le respect des 15 kWh/m².an très difficile

BNC: besoin net en chauffage; CEP: consommation en énergie primaire; EA: étanchéité à l'air; V: ventilation; NC: noeuds constructifs; S: surchauffe; IT: installations techniques

Source: Bruxelles Environnement

À l'heure actuelle, il est donc obligatoire de considérer la performance énergétique et la qualité de l'air intérieur (par la ventilation) des bâtiments pour tout projet nécessitant une demande de permis d'urbanisme. Dans le cadre de cette recherche, nous avons décidé de nous positionner selon une approche anticipative. Au regard des évolutions récentes en matière de réglementations et de performances énergétiques, nous proposons en effet de considérer des objectifs maximums de performances énergétiques pour la rénovation résidentielle (basse énergie à passif), et ce, dans le but d'anticiper une revue à la hausse des exigences. Cependant, dans le contexte actuel, les interventions de rénovation ou de construction ne peuvent se focaliser uniquement sur des considérations énergétiques telles que demandées par la PEB. En effet, elles doivent également être appréhendées selon une démarche globale incluant les problématiques de choix de matériaux durables (impacts environnementaux, ACV...), de déchets et de ressources ou encore intégrant des questions

sanitaires. L'élargissement des exigences énergétiques à d'autres facteurs tels que les impacts environnementa
ux du choix des matériaux est un des objectifs initiaux de l'appel à projet « Bâtiments Exemplaires » lancé en 2007 par la RBC et expliqué ci-après.

Tableau 3.2: Résumé des exigences de valeurs U/R des parois (d'application depuis 2014 et uniformisé entre les régions)

Eléments de construction	U_{max} (W/m².K)	R_{min} (m².K/W)
PAROIS DELIMITANT LE VOLUME PROTEGE		
Parois transparentes	$U_{w,max}$: 1,80	
	$U_{g,max}$: 1,10	
Parois opaques		
toitures et plafonds	0,24	
murs non en contact avec le sol	0,24	
murs en contact avec le sol		1,50
parois verticales et en pente en contact avec un vide sanitaire ou avec une cave en dehors du Vp		1,40
planchers en contact avec l'environnement extérieur	0,30	
PAROIS OPAQUES ENTRE 2 VOLUMES PROTEGES (Vp)	1,00	

Source: CSTC (www.cstc.be)

L'appel à projet « Bâtiments Exemplaires » (BATEX)

Afin d'encourager et de stimuler la construction et la rénovation de bâtiments atteignant des performances énergétiques et environnementales élevées, la région bruxelloise lance en 2007 l'appel à projets « Bâtiments Exemplaires » (BATEX). Entre 2007 et 2013, ce sont six éditions de ce concours qui ont été lancées comptabilisant un total de 243 projets (petits et grands) pour quelque 621.000 m². Aucun nouvel appel à projets n'a été réalisé depuis et n'est prévu jusqu'à nouvel ordre. Avant le lancement des BATEX, le territoire bruxellois ne dénombrait encore aucun bâtiment passif. Grâce à cette démarche, près de 350.000 m² seront normalement construits selon les standards du passif d'ici 2017[15].

Le concours BATEX vise aussi bien les projets de construction neuve, que des reconstructions, des rénovations ou des extensions, et ce, sans limites de taille (petits à grands projets). Il peut s'agir de bâtiments ayant pour fonction le logement individuel ou collectif, le service (école, hôpital, salle de sport, crèche…), ou encore présentant une affectation de bureau, commerce ou industrie. Le concours est donc particulièrement ouvert à toute une série de projet et d'affectation. Les critères énoncés et à

15 - Sans compter les retards éventuels.

respecter concernent[16] :

- l'**énergie**, par la minimisation des besoins en énergie primaire et l'encouragement du recours aux énergies renouvelables pour tendre vers un bâtiment zéro carbone
- l'**éco-construction**, par une démarche qui se veut durable, respectueuse de l'homme et de son environnement au travers de problématiques telles que la gestion des eaux, la gestion des déchets, le confort et la santé, le choix de matériaux…
- la **reproductibilité** et la **rentabilité**, par l'accessibilité des choix constructifs en termes financiers et techniques
- la **visibilité** et la **qualité architecturale** du projet (implantation, contexte, esthétique, usage…)

Sur les six appels à projet (entre 2007 et 2013), 39% des dossiers concernent des rénovations alors que les 61% restants sont des constructions neuves. Concernant l'affectation, 58% des candidatures sélectionnées dans le cadre de l'appel à projet se rapportent au logement dont 28% pour l'individuel et 30% pour le collectif, soit un total de 141 dossiers (construction neuve et rénovation confondues)[17]. Concernant la rénovation en particulier, 36 dossiers ont été introduits pour le logement individuel contre 13 dossiers pour le logement collectif. Dans le cadre de cette partie de recherche, conduite entre 2011 et fin 2012, nous nous sommes appuyés sur les données des quatre premières éditions pour répondre à la caractérisation des interventions de démolition opérées et des types de matériaux utilisés dans la rénovation « exemplaire » bruxelloise[18].

3.2.3. Objet d'étude de la recherche

Au regard des exigences et démarches de la région bruxelloise décrites ci-devant, il nous paraissait essentiel de pouvoir définir un objet d'étude répondant aux spécificités régionales tout en assurant une représentativité justifiée et en étant adapté aux objectifs ambitieux de la RBC. La part importante du **secteur résidentiel** (59% de la surface bâtie de la RBC) et son impact en matière de consommation énergétique portent naturellement notre choix d'étude sur les bâtiments de logements. Concernant les types de constructions, nous nous concentrons sur les configurations de type mitoyen (2F) dont l'année de construction est **antérieure à 1945**. En effet, cette typologie bâtie représente presque deux tiers des bâtiments résidentiels bruxellois,

16 - Source: www.environnement.brussels

17 - Plus globalement en termes de surfaces, et non de nombre de dossiers, l'affectation logement concerne 34% des m^2 construits et rénovés, contre 39% pour les bureaux et commerces et 27% pour les équipements collectifs.

18 - En effet, le lancement des éditions de 2012 et 2013 était alors en cours ou pas encore réalisé. Concernant les quatre premières éditions, une demande d'accès aux dossiers et données techniques a été introduite et accordée par Bruxelles Environnement (IBGE-BIM) durant le 2ème trimestre 2012.

soit un peu plus de la moitié de la surface totale dédiée au logement. Dans ce cadre, les immeubles à appartements pré-1945 sont peu représentés: seulement 1% pour 17% de surface bâtie. Notre objet d'étude concerne donc plus particulièrement les maisons unifamiliales que les immeubles de logements collectifs. Néanmoins, suite à l'augmentation de la population et de la demande en logement, combiné à l'évolution des styles de vie, bon nombre de ces habitations unifamiliales ont été subdivisées en plusieurs unités de logement.

Les enjeux environnementaux et énergétiques actuels rendent indispensable la rénovation de notre patrimoine bâti ancien et énergivore. La région bruxelloise s'est fixé des objectifs ambitieux et a permis de stimuler la filière grâce, entre autres, à l'appel à projets « Bâtiments Exemplaires », sans compter les nombreux incitants financiers : primes énergie, primes à la rénovation... Dans ce contexte, et dans l'optique d'une démarche anticipative et plus globale (autre qu'uniquement énergétique), nous avons décidé de concentrer notre analyse sur la rénovation énergétique et durable des types de construction précités selon la démarche élaborée par le concours BATEX. C'est pourquoi l'objet d'étude est défini comme toute **opération de rénovation lourde de bâtiments résidentiels mitoyens datant d'avant 1945, et suivant les critères de performances énergétiques et environnementales intégrées dans le concours « Bâtiments Exemplaires »**.

3.3. DÉCOMPOSITION DU BÂTIMENT

Le bâtiment peut être défini comme un ensemble complexe résultant de superpositions et d'assemblages de matériaux, éléments et composantes. Il peut donc être analysé à plusieurs échelles:

-> substances (niveau microscopique)
-> matériaux ou ensemble de substances
-> composantes ou ensemble de matériaux
-> système ou ensemble de composantes
-> bâtiment ou ensemble de systèmes
-> quartier ou ensemble de bâtiments
-> ville ou ensemble de quartiers
-> région ou ville et agglomérations
-> territoire -> ...

Ces différentes échelles font en général référence à des intervenants différents: chimistes, fabricants de matériaux, architectes, urbanistes.... Or, chacune de ces échelles dépend de la précédente et influence la suivante. Dans le cadre de cette recherche, nous proposons d'analyser le bâtiment selon ses différentes composantes afin de caractériser les interventions types effectuées dans le cadre de rénovations. Comme spécifié dans le chapitre sur la méthodologie, nous proposons un système

de décomposition du bâtiment dans le but de systématiser notre approche dans la réalisation des analyses de cette partie. Pour opérer cette décomposition, nous nous sommes entre autres basés sur le travail de Stewart BRAND et David FLEMING que nous présenterons brièvement ci-après, et que nous avons adapté aux spécificités des interventions de rénovation bruxelloises.

3.3.1. La théorie de stratification de S.BRAND

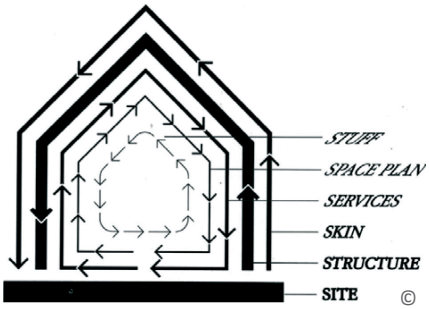
Le bâtiment se compose de divers éléments devant être remplacés plus ou moins régulièrement dans le cycle de vie d'un bâtiment. Par l'observation de modèles sociaux d'occupation de bâtiments, Stewart BRAND a établi une liste de « composants » remplacés à des fréquences similaires. Ainsi, il a remarqué que le mobilier étant la forme de changement la plus aisée à réaliser se caractérisait par une fréquence de changement se réduisant parfois à six mois en fonction des besoins des occupants. Ensuite, après plusieurs changements d'emplacement de meubles, le réaménagement des espaces intérieurs par enlèvement ou ajout de cloisonnements traduit de nouveaux besoins en termes d'espace. Bientôt, il s'agit de mettre à jour les équipements (électricité, plomberie...) puis de rénover la façade vieillie par le temps. Les éléments les plus stables sont représentés par la structure et enfin le site d'implantation.

Les changements et modifications s'opérant tout le long du cycle de vie du bâtiment sont inévitables. Les édifices ne permettant aucun remaniement ni d'adaptation sont voués à être remplacés, abandonnés ou démolis. L'objectif de la stratégie de stratification de BRAND est de renverser la tendance de notre approche traditionnelle pour maximiser la facilité de rénovation par une conception permettant le remplacement aisé de chacune des couches de manière cyclique c'est-à-dire en fonction de la nécessité et l'occurrence des remplacements [FLEMING, 2009].

La stratégie de stratification de BRAND s'établit comme suit:

- le **site**, élément géographique ayant une durée de vie pérenne
- la **structure**, fonction portante de l'édifice présentant une durée de vie de 30 à 300 ans
- l'**enveloppe extérieure** comprise comme la peau extérieure du bâtiment est généralement rénovée ou remplacée au bout de 20 ans (par nécessité de performances thermiques et/ou besoins esthétiques)

Figure 3.5: Théorie de stratification

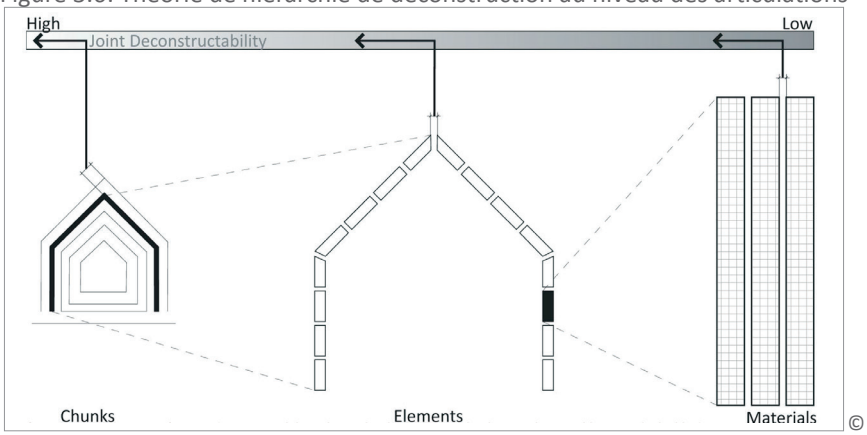


Source: [BRAND, 1994]

- les **équipements** compris comme les éléments techniques (HVAC, plomberie, électricité...) deviennent en général obsolètes au bout de 7 à 15 ans
- l'**aménagements des espaces intérieurs** comprenant les murs, plafonds, sols... peut être modifié tous les 3 ans, tout dépend des besoins et de l'évolution des familles
- le **mobilier** présente une facilité de changement, il peut être déplacé ou modifié au gré des besoins et des envies des occupants, l'échelle se compte en jour, en mois, voire plus.

La notion de temps, ici considérée par la fréquence de remplacement caractéristique des différentes strates, doit être mise en parallèle avec les principes énoncés dans la première partie de cette recherche concernant le 4Dimensional Design, le design for deconstruction et design for reuse, le bouclage des cycles de matériaux et d'éléments par la réutilisation... Chaque élément doit être considéré dans l'optique de son remplacement et de sa réutilisation ultérieurs. Prenons l'exemple de l'utilisation de matériaux de réemploi ou recyclés, elle dépend également de facteurs d'approvisionnement (quantités disponibles, degré de « réutilisabilité »). Dans ce contexte, et sur base d'une approche combinée des théories de BRAND et KIERAN & TIMBERLAKE (KTA), David FLEMMING propose une composition du bâtiment comme une collection de plus petits éléments appelés « panneaux » ou « éléments » (plutôt que des surfaces continues) présentant une adaptabilité plus importante aux changements et à la réutilisation de matériaux.

Figure 3.6: Théorie de hiérarchie de déconstruction au niveau des articulations

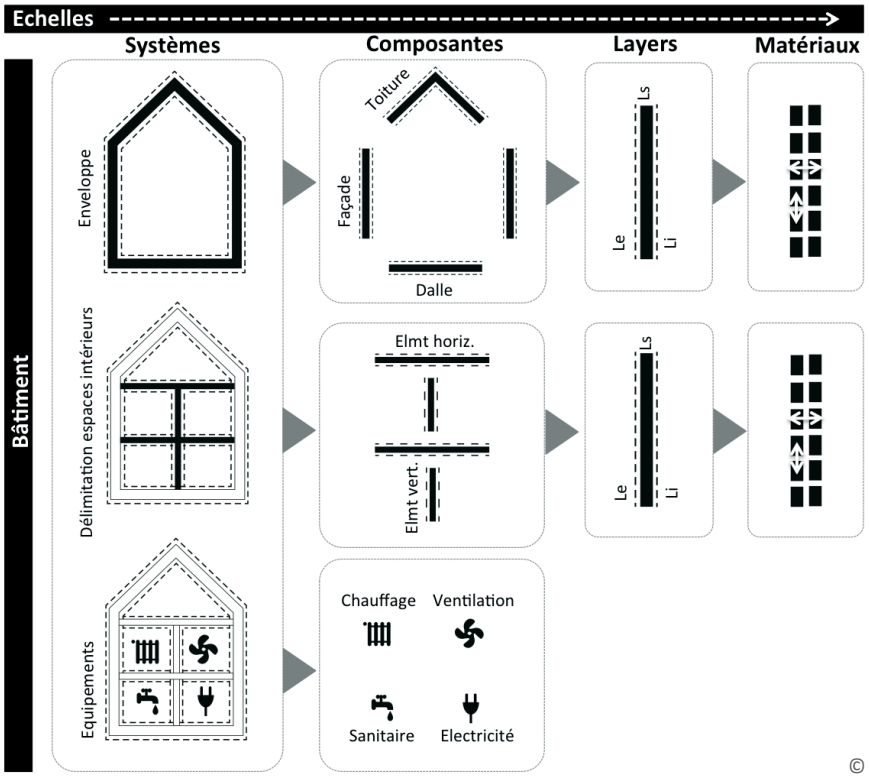


Haut niveau de désassemblage requis à plus grande échelle (celles des parties, des éléments) et bas niveau de désassemblage considéré à l'échelle du matériau - Source: [FLEMING, 2009]

3.3.2. Décomposition en fonction des critères d'intervention

Considérons un bâtiment type pour la région bruxelloise, la priorité d'action pour une meilleure performance énergétique visera l'isolation et l'étanchéification de l'enveloppe et, par là même, la détermination du volume chauffé. Les changements opérés aux espaces intérieurs dépendront des besoins de l'occupant (modification ou non des espaces, esthétique…), de la nécessité de créer des trémies et gaines pour l'installation des nouvelles techniques ou encore, de la sécurité (stabilité, résistance au feu…). La proposition de décomposition développée ci-après s'inspire directement des théories de BRAND et FLEMING tout en apportant une approche adaptée aux interventions types de rénovation opérées sur le bâti bruxellois.

Figure 3.7: Proposition de décomposition du bâtiment: systèmes, composantes et layers



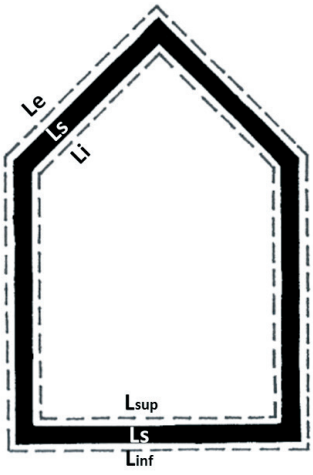
Un **système** est défini dans le dictionnaire comme *un ensemble d'éléments considérés dans leur relation à l'intérieur d'un tout fonctionnant de manière unitaire*. Nous considérons ici que l'enveloppe du bâtiment, les éléments délimitant les espaces intérieurs et les équipements forment chacun un système à part entière. Ces sys-

tèmes possèdent une finalité différente et fonctionnent de manière interdépendante et complémentaire, le bâtiment étant le résultat de la somme de ces systèmes. Les systèmes représentent eux-mêmes une addition de différentes **composantes** se caractérisant par des compositions et des fonctions variées (exemple: composantes façade, toiture et dalle de sol pour l'enveloppe). Dans le cas des deux premiers systèmes (enveloppe et éléments délimitant les espaces intérieurs), les composantes se subdivisent en plusieurs strates appelées aussi **layers** (pour couche), eux-mêmes étant composés de l'assemblage d'un à plusieurs **matériaux**. Nous aurions également pu rajouter une échelle supplémentaire en considérant les composantes comme une somme d'**éléments** (telle la théorie de FLEMMING) subdivisés en layers puis matériaux. Cette échelle n'étant pas tout à fait représentée dans les cas d'étude considérés, nous ne l'avons pas reprise dans notre décomposition.

L'enveloppe constitue le premier élément d'action afin d'améliorer les performances énergétiques du bâtiment par une isolation et une étanchéification. En outre, elle constitue l'élément essentiel du bâtiment assurant protection aux occupants face aux conditions climatiques défavorables (intempéries, températures extrêmes, etc.) (TRACHTE, 2012). L'enveloppe peut également se définir comme l'assemblage de plusieurs composantes représentées par la toiture, les façades, la dalle de sol. Ces composantes sont elles-mêmes divisées en plusieurs layers eux-mêmes constitués d'un ensemble « assemblé » de matériaux formant une paroi. Chaque layer de la paroi possède sa fonction propre décrite ci-dessous :

1. Le ***layer extérieur*** (L_e), pas toujours présent dans le cas de certaines façades, est la première couche protectrice du bâtiment soumise aux conditions extérieures (intempéries, etc.). Il peut s'agir de crépis, brique de parement ou bardage dans le cas de façades ou encore de tuiles (avec leur complexe lattes, contre-lattes et sous-toiture) dans le cas de toiture à versant, ou d'étanchéité bitumineuse sur support bois pour les toitures plates.
2. Le ***layer structurel*** (L_s) assure la fonction portante (et donc essentielle) de la paroi et la stabilité de l'ensemble construit. Il s'agit du layer défini par BRAND comme étant le plus "durable" (outre le site) dans le temps et dont les durées de vie peuvent aller de 30 à 300 ans.

Figure 3.8: Représentation des différents layers



3. Le ***layer intérieur*** (L_i) est celui qui assure (entre autre) la finition intérieure du bâtiment. Au-delà de l'aspect purement esthétique de cette couche intérieure, une attention particulière doit être portée quant au choix de ces matériaux afin d'assurer confort et santé aux occupants (hygrothermie, polluants intérieurs, etc.).
4. Dans le cas des dalles de sol (et planchers), nous avons également défini 3 layers mais dénommés *layer supérieur* (L_{sup}), *layer structurel* (L_s) et *layer inférieur* (L_{inf}). Le layer supérieur correspond à la couche de finition de la dalle et est donc en contact avec l'espace intérieur.

Notons que les layers ne sont pas forcément présents dans tous les cas. Par exemple, pour un mur de façade (L_s) en briques pleines apparentes à l'extérieur, le layer extérieur n'existe pas (sauf si couche de peinture). De plus, les layers ne sont pas nécessairement monocouches puisqu'ils peuvent comporter un ensemble de matériaux assemblés ou apposés. Retenons le cas du *layer extérieur* d'une toiture à versant qui se compose en réalité du complexe tuiles, lattes, contre-lattes et sous-toiture, ou encore d'un *layer intérieur* de mur de façade isolé par l'intérieur reprenant une contrecloison isolée en structure bois avec plaque OSB et plaque gyproc.

Les éléments définissant les **espaces intérieurs** tels que les planchers et les murs intérieurs (porteurs ou cloisons) permettent une modulation, une organisation, une délimitation des espaces intérieurs. Ils sont créés et construits afin de répondre au mieux aux fonctions et besoins spatiaux que requiert l'affectation des locaux[19]. Cependant, ces besoins varient selon les occupants et ne sont pas constants sur l'échelle du temps. De plus, c'est au travers de ces éléments que devront également être incorporés les techniques (fluides) et équipements tels que les câbles électriques, les tuyauteries, ou encore les gaines de ventilation du double flux. Il n'est pas toujours aisé de prévoir toutes ces modifications, mais les concepts tels que la flexibilité et l'adaptabilité dans le temps, s'ils sont intégrés dès la conception du projet, permettent de les anticiper et ainsi de limiter le nombre d'interventions ultérieures génératrices de déchets.

Les **équipements** font également l'objet de nombreuses modifications lors d'un processus de rénovation et d'amélioration des performances énergétiques du bâtiment: remplacement de la chaudière, nouveaux corps de chauffe, panneaux solaires, nouveaux réseaux (électrique, tuyauteries calorifugées...), double flux, gaines et bouches de ventilation, etc. Cependant, l'opération peut s'avérer complexe lorsqu'il s'agit de comptabiliser les matières contenues dans tous ces équipements: nombre de mètres courants de câbles, tuyauteries ou gaines incorporés dans les murs ou les planchers, décomposition des éléments constitutifs de la chaudière, etc. En plus de rencontrer des obstacles quant à l'accessibilité des données (les techniques sont « cachées »), une analyse quantitative de ces matières représente une charge de travail considé-

19 - Certains réglements (RRU, code du logement) définissent des surfaces minimales de planchers selon l'affectation du local.

rable. C'est pourquoi nous avons décidé de concentrer l'analyse qualitative et quantitative des flux et stocks de matière du bâtiment à l'échelle de l'enveloppe et des espaces intérieurs. Au regard de l'importance des installations techniques dans le bâtiment, les équipements mériteraient toutefois une attention particulière et des recherches complémentaires à l'avenir.

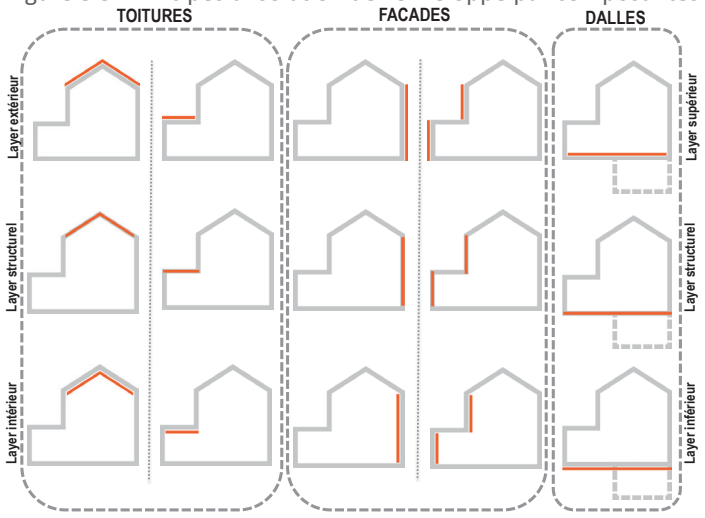
3.4. CARACTÉRISATION DES INTERVENTIONS DE RÉNOVATION

3.4.1. Principes d'intervention pour l'amélioration des performances thermiques

Isolation de l'enveloppe

La question que nous nous posons est de savoir s'il existe des récurrences et un systématisme dans les mécanismes de rénovation « exemplaire » de la maison mitoyenne bruxelloise[20]. Afin de répondre à cette question, nous nous sommes tout d'abord penchés sur les types d'interventions réalisés pour l'amélioration de la performance thermique de l'enveloppe suivant la proposition de décomposition présentée précédemment. Ces interventions se traduisent le plus souvent par l'ajout d'une couche isolante et d'étanchéité à l'air. Concernant les isolants, selon les cas et surtout les possibilités, ils seront ajoutés au niveau du *layer extérieur*, du *layer structurel* ou du *layer intérieur*.

Figure 3.9: Principes d'isolation de l'enveloppe par composantes

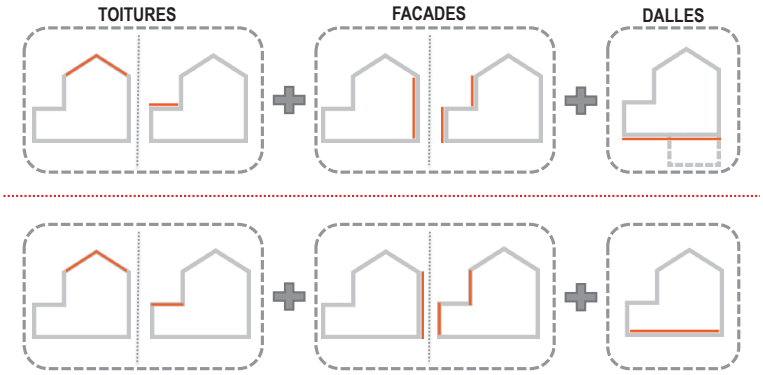


20 - Nous considérons ici l'objet d'étude défini au point 3.2, à savoir le bâtiment de logement 2 façades datant d'avant 1945 et rénové selon les critères de l'appel à projets 'Bâtiments Exemplaires'.

Différentes combinaisons sont évidemment envisageables. Par exemple :

- toiture à versant isolée dans layer structurel + toiture plate isolée par l'extérieur + façade avant isolée par l'intérieur + façade arrière isolée au niveau du layer extérieur + dalle isolée au niveau du layer inférieur OU
- toiture isolée dans layer structurel et extérieur + façade avant isolée au niveau du layer extérieur + façade arrière isolée dans layer structurel et extérieur + dalle isolée dans layer supérieur

Figure 3.10: Exemples de possibilités de combinaison d'isolation



Noeuds constructifs

La difficulté des combinaisons envisagées résulte de la continuité de l'isolant à assurer (ainsi que de l'étanchéité à l'air). Cette tâche n'est pas toujours aisée dans les cas de rénovations, plus particulièrement lorsque sont combinées isolations extérieure et intérieure. Résoudre les **nœuds constructifs** appelés aussi « ponts thermiques », ou diminuer leurs effets par un retour d'isolant suffisant doit constituer un point d'attention important dans la démarche de l'architecte. C'est pourquoi il est essentiel d'intégrer un travail et une réflexion à l'échelle du détail technique le plus tôt possible dans le processus de conception. En effet, plus l'ambition énergétique du bâtiment rénové est haute, plus les ponts thermiques auront d'impact sur le bilan énergétique global et surtout, plus ils seront à l'origine de désordres physiques dans le bâtiment: apparition de condensation aux points froids, développement de moisissures, etc. Les noeuds constructifs sont également pris en compte dans la règlementation de la Performance Énergétique de Bâtiments[21] [QUEVRIN, 2012].

Type d'isolants

L'isolation des habitations apparaît suite aux chocs pétroliers de 1973 et 1979, elle émerge parallèlement à la prise de conscience croissante des enjeux environnementaux. L'isolation du bâtiment doit permettre à la fois la réduction des déperditions

21 - Cfr. Annexe V de l'OPEB.

thermiques de l'enveloppe ainsi que le confort thermique en été comme en hiver, tout en garantissant un climat intérieur sain. Certains matériaux isolants assurent également une protection contre le bruit grâce à leurs caractéristiques acoustiques [TRACHTE, 2012].

Un matériau peut être qualifié d'isolant lorsqu'il présente un coefficient de conductivité thermique inférieur ou égal à 0,07 W/m.K (à l'état sec). Bien que les matériaux isolants proviennent de différentes sources distinctes (naturelle, minérale, pétrochimique, renouvelables ou non), nous avons choisi de les considérer comme une famille de matériau à part entière. Ils peuvent cependant être classés suivant la matière première utilisée et les transformations subies lors de leur fabrication [TRACHTE, 2012].

Tableau 3.3: Classement des matériaux isolants

Isolants thermiques		
	Organiques	**Inorganiques / Minéraux**
Naturels	Coton, Lin, Chanvre Fibre / Laine de bois Cellulose, Paille Laine de mouton, Roseau	Perlite Perlite expansée Argile expansée Pierre ponce naturelle
Synthétiques	Mousse phénolique Polystyrène expansé (EPS) Polystyrène extrudé (XPS) Polyuréthane rigide (PUR) Mousse en résine d'urée-formaldéhyde	Laine de verre Laine de roche Verre cellulaire

Source: [TRACHTE, 2012]

Différentes formes sont rencontrées: en vrac, en panneaux rigides, en matelas souples ou en mousse projetée. Ils sont mis en œuvre par déversement ou insufflation dans le cas des isolants en vrac, par assemblage mécanique et/ou par collage dans le cas des panneaux et rouleaux, par projection pour les mousses projetées. Dans le cas des matériaux isolants projetés ou collés, la récupération dans un objectif de recyclage est compliquée voire impossible. Les assemblages secs (emboîtement, vrac) ou mécaniques sont donc à privilégier. De façon générale, les matériaux en vrac possèdent également l'avantage de produire moins de déchets lors de leur mise en œuvre (pas de chutes provenant du redimensionnement des panneaux ou matelas isolants).

Nous verrons par la suite que certains matériaux isolants sont plus récurrents que d'autres dans l'isolation de l'enveloppe des « Bâtiments Exemplaires ». Les critères de sélection de ces derniers pour le concours BATEX, basés principalement sur le NIBE, peuvent en partie expliquer ces tendances (voir suite du présent chapitre).

Etanchéification de l'enveloppe

Une isolation de l'enveloppe doit s'accompagner de la mise en place d'une barrière étanche à l'air. Sans cette dernière, une bonne isolation peut parfois se révéler peu efficace à cause de l'apparition importante de déperditions thermiques par exfiltration et infiltration d'air dans le volume chauffé. De plus, ce phénomène engendre d'autres désordres dans le bâtiment aux endroits où se produisent ces infiltrations. La difficulté de l'étanchéité à l'air se situe dans sa continuité, dans les raccords (planchers murs, châssis, etc.) et dans certains détails tels que les blochets électriques, les caissons à volets, etc. En rénovation, ces raccords peuvent parfois s'avérer difficiles à réaliser. C'est pourquoi le concepteur doit en tenir compte au plus tôt dans le projet. Une bonne communication avec les ouvriers est également importante pour assurer la bonne mise en œuvre de la barrière d'étanchéité et éviter les dégâts occasionnés par le passage parfois catastrophique de corps de métier différents suite à la pose de cette dernière. L'étanchéité à l'air peut être assurée par le plafonnage, des plaques d'OSB rejointoyées par du tape (pour éviter les fuites), les dalles en béton ou encore le placement d'une membrane étanché à l'air appelée également frein-vapeur. Cette dernière solution est particulièrement usitée en toiture. Pour la rénovation, l'objectif indicatif de performance d'étanchéité à l'air pour l'appel à projets BATEX 2012 est de 1,5 (n50 /h).

Nouveaux équipements

Le premier objectif du concours BATEX concerne la limitation des besoins en énergie primaire (chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, électricité auxiliaire, refroidissement) entre autres par l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air décrits précédemment. En second lieu est placé le recours aux énergies renouvelables in situ afin de pouvoir répondre aux demandes du bâtiment (panneaux solaires thermiques et photovoltaïques, géothermie, biomasse, etc.). Concernant le recours aux énergies renouvelables, une autonomie complète est rarement atteinte.

La ventilation

L'isolation importante de l'enveloppe nécessite une bonne étanchéité à l'air du volume entraînant une obligation de ventilation adéquate. Il s'agit là du trio d'actions à mener lors de l'amélioration des performances énergétiques du bâti. En outre, la ventilation est une des exigences formulées dans l'Ordonnance sur la Performance Énergétique des Bâtiments (OPEB) qui y décrit des débits de ventilation minimum et maximum à assurer en fonction de la surface et de l'affectation des locaux. L'objectif indicatif[22] repris par le concours concerne la mise en place d'un système D (pulsion et extraction mécaniques avec récupération de chaleur) dont le rendement de l'échan-

22 - Donnée basée sur l'appel à projet 2012 mais également valable pour les autres appels à projet.

geur doit être supérieur à 85% (selon la NBN EN 308). D'autres types d'installation sont possibles (système C) à condition que les choix opérés soient justifiés.

Nous pouvons observer que la totalité des projets de rénovation « exemplaire » des quatre premières éditions a opté pour un système de ventilation de type D. Un double flux avec récupérateur de chaleur est en général placé pour assurer cette ventilation. L'installation de cet équipement engendre un encombrement en termes de gaines de ventilation (sections de 10 à 16 cm voire plus) qui doit être pris en compte dans l'élaboration du projet. L'installation d'un puits canadien peut également être envisagée en complément.

Les énergies renouvelables

La disponibilité de surfaces et les possibilités qu'offrent les bâtiments résidentiels mitoyens pour l'installation de systèmes de production alternatifs peuvent s'avérer parfois restreintes en milieu urbain. Concernant l'installation de panneaux solaires, celle-ci sera favorisée en toiture pour autant que cette dernière soit bien orientée. En fonction également des surfaces disponibles sur le toit, les panneaux comporteront du solaire thermique et/ou du photovoltaïque. La mise en place d'un système géothermique est limitée dans le cas de rénovations, car elle comporte des travaux de déblais/remblais importants, de plus elle dépend des dispositions du terrain : localisation, surface, composition…

Le chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS)

Dans certains cas, la chaudière en place est suffisamment récente et ne justifie pas son remplacement, mais dans la plupart des rénovations, cette dernière est remplacée par une chaudière à rendement élevé de type gaz à condensation HR Top. Dans la grande majorité des cas, des panneaux solaires thermiques sont placés afin de couvrir une part plus ou moins importante de la production d'ECS (dépendant de la surface de panneaux installés, de l'orientation, de la consommation).

L'électricité

Dans toute rénovation, l'installation électrique est généralement refaite afin de répondre aux normes actualisées. L'éventuelle différence entre un projet BATEX et un autre projet de rénovation (bien qu'il ne s'agisse pas là d'une panacée des projets BATEX) repose principalement sur le choix d'équipements (frigo, lave-vaisselle, etc.) et de systèmes d'éclairage peu énergivores (par l'optimisation de l'éclairage naturel et le choix adapté d'ampoules et de lampes). Une production complémentaire in situ par la pose de panneaux solaires photovoltaïques est également envisagée lorsque cela s'avère possible.

3.4.2. Données fournies par les projets BATEX

Comme expliqué au point 3.2, l'appel à projets « Bâtiments Exemplaires » constitue une source d'informations précieuses puisque les projets sélectionnés peuvent être considérés comme des projets pilotes répondant aux objectifs que se fixe la région en matière de rénovation durable[23]. Nous nous sommes donc appuyés sur les données BATEX disponibles répondant à l'objet d'étude afin de dégager les orientations de rénovation opérées. Pour rappel, l'analyse de ces projets ayant été réalisée en 2012, seules les données relatives aux quatre premières éditions du concours ont été ici considérées. Une vingtaine de projets a été retenue dont la liste est reprise ci-après[24]. Ce nombre est limité, et nous ne disposons pas à l'heure actuelle de suffisamment de projets de rénovation de ce type pour prétendre à une étude plus large des « tendances » de la rénovation durable bruxelloise[25]. Nous nous baserons donc sur les informations disponibles récoltées afin de dégager les récurrences au niveau du type d'intervention, en matière de démolition d'une part et en matière d'isolation de l'enveloppe d'autre part.

Notons toutefois que parmi ces projets, certains ont été retenus malgré qu'ils ne répondent pas entièrement aux critères de l'objet d'étude. Nous retrouvons de la sorte 3 bâtiments datant des années '50 et '60. Malgré des années de constructions postérieures à 1945, ces projets proposent une configuration répondant aux critères retenus (maison unifamiliale mitoyenne, 2 à 3 pièces en enfilade et annexe éventuelle). Ils se différencient donc principalement sur l'utilisation de matériaux et techniques constructives différentes des constructions antérieures à 1945. Lesdites rénovations seront donc étudiées exclusivement en vue d'en dégager le type d'intervention de démolition et matériaux isolants mis en œuvre. Ensuite, parce que leurs murs mitoyens sont fortement exposés aux conditions extérieures, certains projets font également état de configuration tendant plus vers le 3 façades (3F) que le 2 façades: annexes, hauteur de construction supérieure aux voisins, décalage dans l'alignement à rue). Enfin, un projet de la liste ne figure pas parmi les candidats BATEX (projet n°10), mais la décision a été prise de l'inclure dans l'analyse, car il propose des interventions de rénovation similaires, bien que l'objectif de performance énergétique soit moins élevé que les autres projets BATEX (standard basse énergie).

23 - L'accès aux données concernant le concours "Bâtiments Exemplaires" a été octroyée par Bruxelles Environnement pour une utilisation dans le cadre de cette recherche.

24 - Après les six appels à projets, le nombre de dossiers BATEX relatifs à des projets de rénovation dans le secteur résidentiel s'élève à 36 dossiers pour le logement individuel contre 13 dossiers pour le logement collectif

25 - Même après les six éditions du concours, le nombre de ce type de rénovation "exemplaire" reste restreint à l'échelle régionale.

Tableau 3.4: Liste des projets BATEX retenus

Projet	Commune	Année de construction	Année de rénovation	Affec-tation	Nbre Lgmt	Perfor-mance visée	Configu-ration	Niveaux	S.nette	V.ext	C.int	Extension
X				ANALYSE							autres	
1	Auderghem	1921	2011-2012	L.ind	1	26	2F (3F)	R+1 +comble	122	493	2p.	(rez+1)
2	W-B	(1960)	2009-2010	L.ind	1	15	2F	R+2 +comble	150	540	2p.	
3	Auderghem	(1950)	2010-2011	L.ind	1	30	2F	R+2	275	900	2p.	(rez+2)
4	W-st-L	début Xxe	2010-2011	L.ind	1	25	2F	R+1 + comble	194	759	2p.	(rez)
5	Saint-Gilles	1890	2009-2010	L.ind	1	21	2F	R+1 +comble	223	770	2p.	(rez)
6	Uccle	1934	2011-2012	L.ind	1	28	2F (3F)	R+1 +comble	181	706	2p.	(rez)
7	Forest	1922	2008-2009	L.ind	1	23	2F	R+1 +comble	114	412	2p.	(rez)
8	Saint-Gilles	1895	2009-2010	L.ind	1	43	2F	R+2 +comble	202	703	2p.	(rez+2)
9	Auderghem	1930	2011-2012	L.ind	1	16	2F	R+1 +comble	117	466	2p.	(cave+rez)
10	Schaerbeek	1930	2011	L.ind	1	70	2F	R+1 +comble	140	?	2p.	
11	Etterbeek	début XXe	2008-2009	L.coll	5	15- 29	2F (3F)	R+2 +comble	511	1827	3p.	(rez)
12	Etterbeek	fin XIXe	2012	L.coll	2	27-29	2F	R+2 +comble	472	1592	2p.	(rez+1)
13	Schaerbeek	1920	2008-2009	L.ind	1	15	2F	R+1 +comble	155	580	2p.	(rez)
14	B-ste-A	(1965)	2008-2009	L.ind	1	29	2F	R+2	290	933	3p.	(rez)
15	Saint-Gilles	début XXe	2009-2010	L.ind	1	36	2F	R+2 +comble	185	697	2p.	(rez)
16	Anderlecht	1900	2010-2011	L.ind	1	27	2F	R+2 +comble	180	801	2p.	(cave+rez+1)
17	Schaerbeek	fin XIXe	2011-2012	L.ind	1	28	2F	R+1 +comble	155	708	2p.	(cave+rez)
18	Saint-Gilles	1911	2011-2012	L.coll	2	26 / 24	2F (3F)	R+4 +comble	96 - 87	388-351	2p.	
19	Etterbeek	1897	2008-2009	L.coll	2	46	2F	R+2 +comble	233	909	2p.	(cave+rez+1)
20	Schaerbeek	1888	2008-2009	L.ind	1	32	2F	R+2 +comble	239	1074	2p.	(cave+rez+1)
21	Evere	1907	2009-2010	L.coll	2	30	2F	R+2 +comble	206	831	2p.	(cave+rez+1)
22	SJ-t-N	1899	2009-2010	L.coll	3	38	2F	R+2 +comble	353	1251	3p.	(cave+rez+1)
23	Schaerbeek	fin XIXe	2010	L.coll	3	14-23	2F	R+2 +comble	378	836	2p.	(cave+rez+1+2)

S_{nette}: surface nette; V_{ext}: volume extérieur; C_{int}: configuration interne;
L_{ind}: logement individuel; L_{coll}: logement collectif; 2F: 2 façades; 3F: 3 façades
Performance visée: en kWh/m².an

Source: Bruxelles Environnement

Au total, ces rénovations exemplaires comptabilisent 5.258 m² pour 35 logements soit une moyenne de 150 m² / logement.

On retrouve une majorité de **logements individuels** présentant **3 niveaux avec comble** (dénommé « R+2 +comble ») et parfois des caves . Les projets sont assez bien répartis au niveau géographique. Sur les 19 communes de la RBC, 12 d'entre elles reprennent au moins un projet exemplaire de la liste. Schaerbeek et Saint-Gilles sont les communes qui présentent le plus de BATEX suivies par Etterbeek et Auderghem. Au niveau de la configuration intérieure du rez-de-chaussée, la majorité des projets (74%) se constituent de **deux pièces en enfilade** auxquelles s'ajoute la plupart du temps une **extension**. Concernant les performances énergétiques visées, 23% des rénovations atteignent le standard Passif (P) de 15 KWh/m².an, contre 58 % pour le Très Basse Énergie (TBE: 30 kWh/m².an) et 19% le Basse Énergie (BE : 60 kWh/m².an).

Comme mentionné dans le chapitre sur la méthodologie, l'analyse de ces objets d'étude se déroule en deux temps. D'une part, nous traiterons des tendances d'intervention de la rénovation durable en matière de démolition et d'isolation. Cette analyse portera sur les 10 premiers bâtiments de la liste. D'autre part, nous étudierons le bilan matière par l'identification et la quantification des stocks et des flux engendrés par la rénovation exemplaire. Cette analyse portera sur le projet n°1, appelé aussi projet Application.

3.4.3. Tendances observées dans les types d'intervention de démolition

Dans l'analyse des tendances de la rénovation, nous avons différencié les interventions de démolition de l'enveloppe des interventions de démolition sur les composantes intérieures (cloisons, planchers). L'analyse est opérée selon la proposition de décomposition du bâtiment présentée précédemment, et reprend le pourcentage de démolitions opérées sur l'existant en fonction des composantes et des layers constitutifs. Trois degrés d'intervention de démolition ont été distingués: la démolition complète (Dc), la démolition partielle (Dp) et la conservation (C).

Intervention de démolition sur l'enveloppe

Nous pouvons observer que concernant les **toitures à versant**, les interventions sont importantes avec près de 90% de démolition pour les layers extérieurs et intérieurs (soit 9 projets sur les 10 étudiés). La structure, quant à elle, fait l'objet de démolition complète dans 50% des cas. En ce qui concerne l'autre moitié, les pannes sont souvent les éléments préférentiellement conservés, les chevrons sont enlevés dans 2 cas sur 10 ou font l'objet de démolitions mineures dans le but d'accueillir de nouvelles fenêtres de toit. Deux projets sur dix présentaient des toitures inclinées pour leur extension arrière qui ont été supprimées dans leur totalité. Quant aux **toitures plates**, elles concernent les annexes de 5 bâtiments sur 10. Dans 60% des cas, les layers

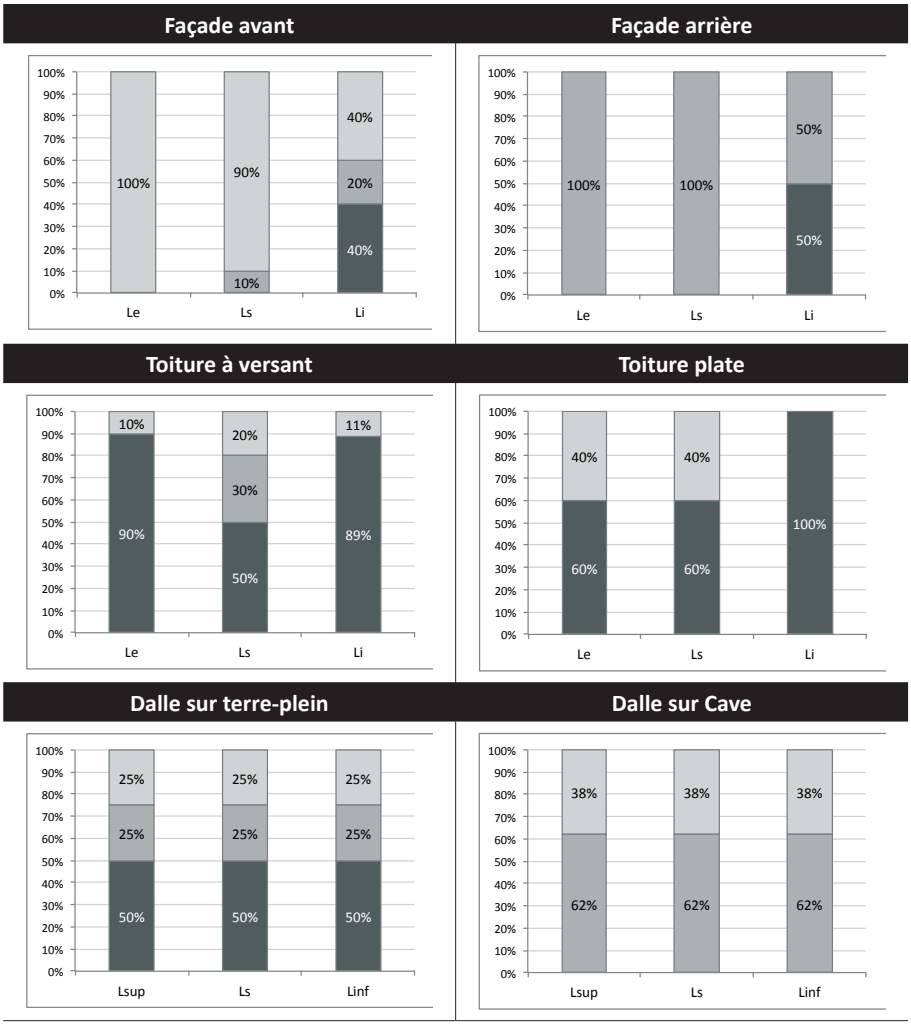
extérieurs et structurels sont démolis complètement. Les 40% restants sont conservés alors que les layers intérieurs sont dans tous les cas éliminés. Des ouvertures de toiture sont supprimées et remplacées ou nouvellement créées pour l'ensemble des projets.

Concernant les **façades**, celle située à l'arrière présente évidemment plus d'interventions de démolition alors que la façade avant est conservée telle quelle dans la grande majorité des cas pour ses layers extérieur (quand il existe) et structurel. Un seul projet propose de légères modifications de baies en façade avant, il s'agit d'un cas relativement rare. Les finitions intérieures sont, quant à elles, peu conservées et font l'objet de démolitions plus ou moins importantes selon les cas : 45% en moyenne de démolition complète pour les deux façades. En façade arrière, la moitié des projets présente une démolition structurelle réduite (inférieure ou égale à 25% de la surface), l'autre moitié concerne des démolitions importantes (plus de 50% de la surface de façade). Les layers extérieur et intérieur suivent cette tendance avec des démolitions supplémentaires dans le cas des finitions intérieures. Il n'existe donc aucune façade arrière conservée telle quelle. À propos des ouvertures, les châssis de fenêtres sont remplacés entièrement en façade arrière alors qu'en façade avant, 3 projets sur les 10 ont choisi de les conserver, soit parce qu'ils présentaient une valeur patrimoniale importante, soit qu'ils étaient de suffisamment bonne qualité pour ne pas justifier leur remplacement. Dans certains cas (2 autres projets sur les 10), les châssis ont été conservés et le vitrage renouvelé par un plus performant. On parle donc de 50% de substitution des fenêtres pour la façade avant.

Les **mitoyens** sont quant à eux peu touchés par les démolitions si ce n'est au niveau des finitions intérieures : 40% de démolition complète, le reste est conservé.

Les **dalles de sol** sur terre-plein sont plus sujettes aux démolitions complètes que les dalles sur cave. Ainsi, nous retrouvons 50% de démolition totale pour celles-ci contre 25% de conservation alors que les dalles sur cave sont principalement conservées (38%) ou ne subissent que de faibles interventions (créations de trémies techniques). Seul un de ces planchers sur cave a dû être remplacé pour cause de moisissures.

Figure 3.11: Intervention de démolition sur l'enveloppe



Intervention de démolition sur les espaces intérieurs

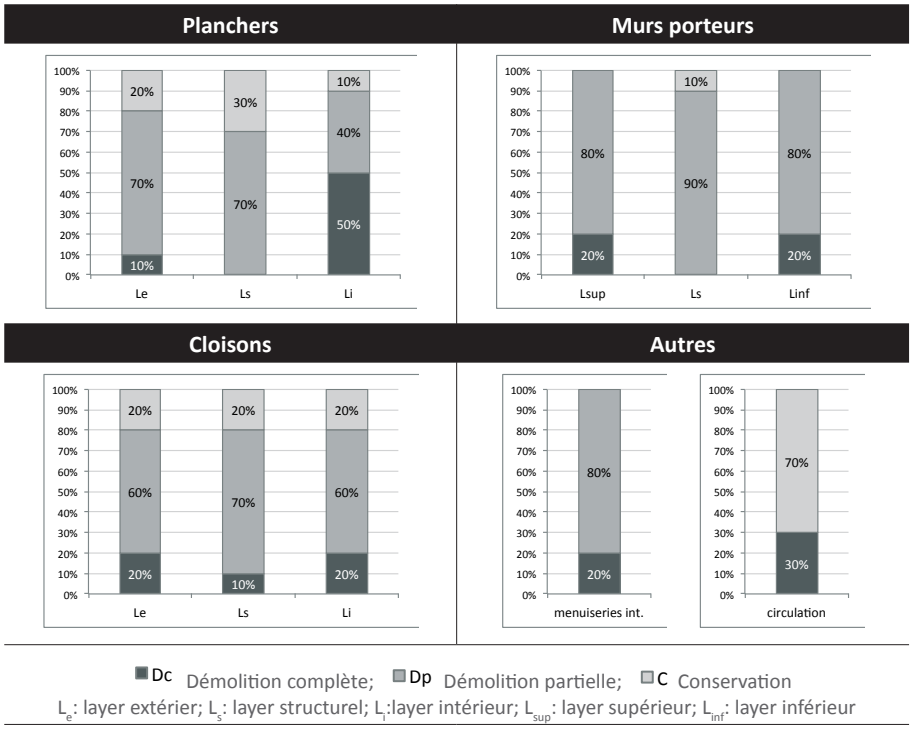
Concernant les éléments définissant les espaces intérieurs, la tendance est moins claire. Les **planchers** subissent certainement moins d'interventions de démolition que les cloisonnements intérieurs. La grande majorité est conservée et fait l'objet de création de trémies techniques de plus en plus indispensables pour l'incorporation des nouveaux équipements (exemple : les gaines du double flux qui présentent un

encombrement important). Il en va de même pour les plafonds et faux plafonds, démolis entièrement dans 50% des cas. Cette opération permet, en recréant un nouveau plafond, le passage éventuel des gaines de ventilation.

Les **cloisons** sont plus sujettes aux démolitions que les murs porteurs avec environ 60% de démolitions qualifiées d'importantes (> 75%). Les **murs** présentant une fonction portante sont majoritairement conservés au niveau de leur layer structurel (80% présentent moins de 25% de démolition) alors que 40% de leurs layers extérieur et intérieur subissent des démolitions importantes. Il s'agit essentiellement de l'enlèvement de la couche de finition intérieure en plafonnage. De manière générale, un décloisonnement important des espaces de vie s'opère au rez-de-chaussée alors que dans les combles, le plus souvent réinvestis en espace de repos (chambres), de nouvelles cloisons sont installées. Concernant les autres niveaux, tout dépendra des besoins des occupants et de l'état des murs.

Une partie des **menuiseries intérieures** (portes) sont évacuées à cause des opérations de décloisonnement alors que de nouvelles portes sont placées dans les nouvelles cloisons. Les menuiseries présentes dans les murs conservés et dont les dimensions de baies ne varient pas trop sont gardées et adaptées (rabottage, ponçage,…). Enfin, trois projets sur les dix étudiés ont envisagé la création de nouveaux espaces de circulation.

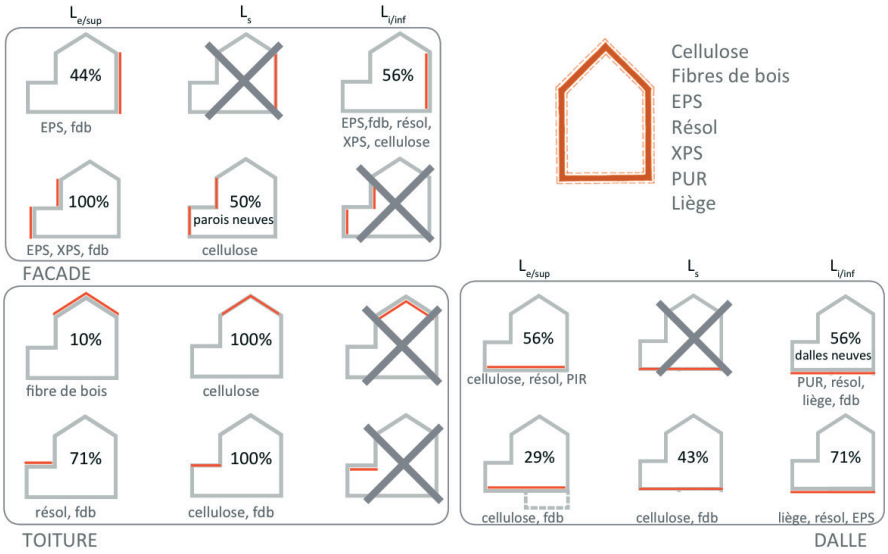
Figue 3.12: Intervention de démolition sur les éléments d'espace intérieur



3.4.4. Tendances observées dans le choix des matériaux isolants

Dans ce sous-chapitre, nous souhaitons étudier la manière dont sont isolées les enveloppes des bâtiments, à savoir, où sont mis en oeuvre les matériaux isolants et quels types de matériaux sont rencontrés. La figure suivante synthétise les résultats obtenus pour cette analyse. Notons que plusieurs combinaisons sont possibles. Ainsi, certaines parois peuvent tout à fait faire l'objet d'une isolation aussi bien dans l'épaisseur structurelle (Ls) qu'au niveau du layer extérieur (double isolation). Les toitures en sont un bon exemple. Le total obtenu par composante peut donc dépasser les 100%.

Figure 3.13: Synthèse du type d'intervention d'isolation



Comme expliqué précédemment, près de 90% des **toitures à versant** sont neufs. Qu'il s'agisse de toiture neuve ou existante améliorée, la tendance générale concerne l'isolation dans l'épaisseur structurelle. Le matériau de prédilection est l'ouate de cellulose insufflée, utilisée dans l'ensemble des projets. Elle s'accompagne selon les cas d'un renforcement structurel (s'il s'agit d'une toiture existante, peu adaptée pour supporter le surpoids que constitue l'isolant) voire d'une couche supplémentaire d'isolant placé en layer extérieur (un des projets propose cette isolation en fibre de bois). Avec 86% de (re)constructions neuves, la tendance semble similaire pour les **toitures plates**: isolation dans l'épaisseur de la structure (en bois dans la majorité des cas) qu'il s'agisse de neuf ou d'existant, avec une isolation complémentaire en layer extérieur dans plus de 70% des cas. Le layer structurel est isolé avec de l'ouate de cellulose insufflée (86%) ou de la fibre de bois en panneau souple alors qu'en layer extérieur, on retrouve préférentiellement de la mousse phénolique ou mousse résol (80%) ou de la fibre de bois en panneaux rigides (20%).

Neuf projets sur dix proposent une isolation de leur **façade avant** : cinq le font par l'intérieur, les quatre autres par l'extérieur. En effet, quand cela est possible, une isolation par l'extérieur est préférée (moins de problèmes de ponts thermiques par une plus grande continuité de l'isolant). Cependant, il est relativement rare qu'une isolation par l'extérieur s'opère en façade avant. Plusieurs raisons sont en cause : l'alignement des façades à rue, le caractère patrimonial de la façade, les règlementations urbanistiques, l'accord ou non de la commune lors du permis, etc. Nous pouvons remarquer que les projets BATEX présentant une isolation extérieure sont tous implantés en retrait par rapport à la rue. Cette disposition explique une certaine liberté d'intervention extérieure. Concernant les matériaux isolants mis en œuvre en layer extérieur, il s'agit pour toutes les rénovations concernées du système ETICS (ou crépi sur isolant). Dans 75% des cas, le matériau isolant utilisé est du polystyrène expansé (EPS), pour le reste il s'agit de fibre de bois (en panneau rigide). Pour l'isolation par l'intérieur il n'existe pas vraiment de tendance au niveau du choix du matériau isolant. Nous retrouvons aussi bien des isolants organiques naturels (cellulose, fibre de bois) ou synthétiques (EPS, XPS, mousse résol) que des isolants minéraux synthétiques (laine de verre, laine de roche, verre cellulaire). L'isolation de la **façade arrière** existante se fait elle systématiquement par l'extérieur dans tous les projets. Cependant, une part importante de démolition/reconstruction est entreprise sur ces dernières. Près de 60% des projets présentent des parois neuves (principalement pour la réalisation d'extensions) pour lesquelles 83% proposent une isolation dans l'épaisseur de la structure quand il s'agit de structure bois. Le choix de l'isolant extérieur suit les mêmes tendances qu'en façade avant : système de crépi sur isolant dont 70% correspondent au polystyrène (EPS et XPS) et les 30% restants correspondent à la fibre de bois. En isolation dans le layer structurel, nous retrouvons essentiellement l'ouate de cellulose insufflée.

Sept rénovations sur dix proposent une isolation partielle des **murs mitoyens**. Ces interventions concernent les murs mitoyens n'étant pas en contact avec un volume chauffé adjacent : murs contre terre, murs dépassants par une hauteur de bâti plus importante ou par un alignement différent, ou encore construction d'annexe. Quand les conditions le permettent, une isolation extérieure est envisagée (56% des cas). Cette dernière est réalisée suivant le même principe que les façades : crépi sur isolant dont 75% de polystyrène (XPS, EPS) et le reste de la fibre de bois (panneau rigide). Cette isolation extérieure s'accompagne souvent d'une isolation intérieure complémentaire (sur une même paroi ou sur une autre). Ce sont ainsi 86% des projets qui proposent une isolation par l'intérieur. Le matériau isolant de prédilection pour cette opération concerne principalement les matériaux organiques naturels : fibre de bois et cellulose représentent 83% des isolants intérieurs.

En ce qui concerne les **dalles de sol sur terre-plein**, 78% d'entre elles sont démolies et reconstruites ou nouvellement créées. Près de 56% de ces dalles sont isolées au niveau de leur layer inférieur alors que les 44% restants proposent une isolation au

niveau supérieur. Dans le cas d'une isolation au-dessus de la structure, on retrouve une moitié de cellulose (en vrac) et une autre moitié d'isolants organiques synthétiques (résol, PIR). Alors qu'en isolation inférieure, on rencontre du liège, du PUR et du résol. Les **dalles sur cave** sont quant à elles conservées dans 86% des cas: 29% sont isolées au niveau du layer supérieur et 71% présentent une isolation inférieure parfois combinée à une isolation dans l'épaisseur de la structure. En partie supérieure, les isolants organiques naturels comme la fibre de bois ou la cellulose sont préférés alors qu'en partie inférieure, plusieurs types d'isolants semblent mis en œuvre (EPS, résol, liège, fibre de bois, cellulose). Dans l'épaisseur structurelle, nous retrouvons essentiellement de la laine de verre ou de la cellulose. En règle générale, les planchers bois seront isolés dans le layer structurel quand cela est possible et les dalles en béton nécessiteront une intervention en partie inférieure ou supérieure.

Un tableau reprenant les types d'isolant et les layers au niveau desquels ils sont mis en œuvre par composante et par projet est repris en annexe.

3.4.5. Tendances observées dans les équipements installés

En termes de ventilation, la totalité des projets étudiés propose un système **double flux** (avec récupérateur de chaleur). Seul un projet reprend l'installation complémentaire d'un **puits canadien** (projet n°5). Les travaux de déblais et de remblais pour l'installation de ce puits ont été réalisés par le maître de l'ouvrage. Le projet en question présente une surface relativement importante de terrain (par rapport aux critères bruxellois) permettant l'installation de ce type d'équipement, ce qui n'est pas le cas de la majorité des autres projets.

Concernant le recours aux énergies renouvelables, presque toutes les rénovations s'accompagnent du placement de **panneaux solaires thermiques** en toiture pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Seul un projet n'y répond pas puisqu'il s'agit du projet non BATEX. Quatre projets sur les dix étudiés proposent également l'installation de **panneaux solaires photovoltaïques** pour la production d'électricité. Il s'agit là des seules énergies alternatives mises en place in situ lors de la rénovation exemplaire de ces bâtiments de logement. La biomasse ou la géothermie ne font donc pas partie des installations. Cela peut s'expliquer par l'échelle du bâti considéré. Pour le chauffage et la production d'ECS complémentaire aux panneaux solaires thermiques, des **chaudières gaz à condensation** neuves sont placées dans 90% des cas. La totalité des projets propose une nouvelle installation électrique avec de nouveaux appareils.

3.4.6. Influence des tendances d'intervention sur les flux de matières

La promotion d'une rénovation importante du patrimoine bâti bruxellois aura pour effet, certes la réduction des consommations énergétiques des ménages à terme, mais également une influence sur les flux de matières importées (flux IN) par la Ré-

gion entraînant des conséquences sur la consommation en ressources et en énergie. Ensuite, le type de matières résiduelles (flux OUT) généré par les travaux de rénovation dépendra de différents critères: année de construction, matériaux mis en œuvre, mise en œuvre sur chantier, propreté du chantier, choix conceptuels et constructifs, etc. Nous aborderons ici quelques éléments permettant une réflexion sur la caractérisation de ces flux.

Flux de matières entrantes ou *flux IN*

Les matériaux qui vont caractériser au mieux les flux de matières entrantes des opérations de rénovation du bâti bruxellois concernent sans doute les matériaux de finition et les isolants. Du plus dense au plus performant, du « naturel » ou « écologique » à celui issu de la pétrochimie, le marché du matériau isolant est en pleine expansion depuis plusieurs années. Tout d'abord parce qu'il s'agit aujourd'hui d'une nécessité au regard des enjeux environnementaux. De plus, ils constituent des matériaux incontournables pour pouvoir répondre aux exigences réglementaires de performances énergétiques. Ensuite, les primes à l'isolation octroyées par la région pour la rénovation ont également accéléré leur utilisation et leur diffusion. Outre les isolants, relativement « nouveaux » sur le marché des matériaux (considérant la révolution industrielle comme point de référence), nous retrouvons également dans les matières entrantes des matériaux de plus en plus complexes, hybrides et composites. L'utilisation combinée de différentes matières au sein d'un même produit (ou élément) confère généralement à ce dernier des caractéristiques et qualités spécifiques impossibles à obtenir en considérant les matières séparément. L'utilisation de matières plastiques dans la construction (étanchéité à l'air / à l'eau) s'est également largement répandue. Concernant le bois, l'usage de produits dérivés comme les panneaux est également de plus en plus fréquent. Enfin, en dehors de l'introduction de nombreux nouveaux matériaux sur le marché, l'utilisation de matériaux plus « anciens » comme la pierre, la brique, le béton, le métal, le bois plein,... est également toujours d'application et bien répandue. Dans la mesure où ces matières neuves constitueront nos déchets de demain, une attention particulière quant à leur choix est primordiale dans une démarche durable et anticipative en matière de gestion des déchets et des ressources.

Flux de matières sortantes ou *flux OUT*

Les déchets de l'existant

Lors d'un processus de rénovation, une partie des déchets générés provient du bâtiment existant sur lequel sont envisagés les travaux. Leur nature dépendra de l'année de construction de l'édifice et des modes constructifs de l'époque. La période d'avant 1900 correspondant aux grands travaux d'aménagement réalisés sous Léopold II se caractérise par l'emploi de matériaux artisanaux ou semi-industrialisés: pierre de

taille, bois nobles (essentiellement du chêne provenant de la forêt de Soignes), métaux ferreux, briques pleines moulées à la main, mortier de chaux... Du début du XXe siècle jusque dans les années 1950, Bruxelles s'étend vers les communes de la seconde couronne, la densité du bâti diminue, les premiers immeubles apparaissent avec des matériaux de plus en plus standardisés, les produits industrialisés et le développement de l'industrie pétrochimique: béton, goudron, bitume.... Après la Seconde Guerre mondiale jusque dans les années '70, la ville ambitionne de grands travaux d'infrastructure, de nouveaux matériaux apparaissent sur le marché: matériaux composites, aluminium, zinc, certaines matières plastiques. Enfin, après 1970, la première crise pétrolière entraîne une considération nouvelle des enjeux énergétiques et influence l'activité de la construction & démolition qui se caractérise alors par une campagne de rénovation, mais également par de grandes opérations urbanistiques (gare du nord, gare du midi, nouveaux lotissements et contrats de quartier). Les isolants en PUR et PSE issus de la pétrochimie apparaissent vers 1980[26]. Actuellement, les matériaux présents sur le marché sont de plus en plus nombreux et se complexifient, les matériaux composites représentent le quotidien du constructeur.

Les principales matières « sortantes » (et ce, quelle que soit leur finalité: réemploi, recyclage, incinération) concerne les fractions d'inertes, de bois, de métal, de mélange (châssis, anciens câbles, anciens enduits...). Une part importante de récupération en vue d'un réemploi est envisagée pour les portes, quincailleries, planchers et autres présentant des valeurs esthétique et/ou patrimoniale. Les principales filières de valorisation de ces déchets ont été abordées dans la partie 2 de ce travail.

L'élément principal influençant les quantités produites se situe au niveau de la conception et des besoins formulés par le MO: plus il y aura de modifications structurelles et spatiales, plus la quantité de déchet engendrée sera potentiellement importante.

Les déchets dits « neufs »

Par déchets « neufs », nous entendons tous les déchets occasionnés par la mise en oeuvre des nouveaux matériaux dans le bâtiment existant (provenant des flux IN). Ce type de déchets se présente principalement sous forme de chutes de mise en oeuvre. Nous retrouverons donc principalement des déchets d'isolants, d'éléments de cloisonnement (plaques gyproc, fermacell, OSB, métal stud...), de plâtre ou blocs de plâtre, de bois, de films étanches à l'air... mais également les déchets d'emballage de ces matériaux[27]. Dans le cas de rénovation, les chutes de mise en oeuvre sont en général réduites par rapport aux démolitions opérées sur l'existant. L'avantage de ce

26 - Résumé de discussions avec le professeur Jean-Louis Van den Eynde et l'architecte David Vandenbroucke spécialisés en patrimoine et restauration.

27 - Il existe une obligation de reprise pour les déchets d'emballages (plastiques, palettes): Arrêté du GRBC du 18 juillet 2002 modifié par les arrêtés du 3 juin 2004 et du 23 mars 2006.

type de déchet est qu'il présente en général une pureté initiale plus importante que les déchets de l'existant (déjà assemblés depuis un certain nombre d'années). Si elles sont séparées à la source dès leur production, la contamination des fractions de déchets de mise en oeuvre sera réduite, augmentant de la sorte les opportunités de valorisation.

La conception, élément d'influence de la qualité et de la quantité des fractions

La conception et la qualité de mise en oeuvre sont des éléments d'influence majeure dans la production de déchets concernant les quantités et types de déchets produits (voir partie 2: source de génération des déchets). Dans cette optique, avant toute intervention de rénovation, l'architecte devrait considérer les matières en présence offertes par le bâti existant ainsi que l'impact de ses interventions en matière de production de déchets. La composition du projet nécessite également la prise en compte de l'aspect dimensionnel des matériaux. Le calepinage, intégré à la conception, permet de limiter les chutes lors de la réalisation sur chantier. Enfin, il semble essentiel de fournir suffisamment d'informations précises afin que la mise en œuvre soit la plus proche possible du résultat poursuivi. L'information peut être reléguée à travers les plans et détails techniques, le cahier des charges et métrés, la cosignature de chartes pour le respect de certaines consignes non obligatoires, etc. Les facteurs influençant la qualité du déchet (ou encore pureté des fractions) concernent principalement la gestion sur chantier, mais également certains critères de conception. Dans ce cas, les éléments influençant la qualité se caractérisent, notamment, par le choix des matériaux et modes constructifs, en fonction de leur caractère recyclable, des possibilités de réemploi ou encore de la proportion de matière recyclée dans leur composition. Sur chantier, la première démarche à suivre est une bonne information et communication entre corps de métier, un réflexe de tri à la source et une préparation adéquate du terrain (propreté du chantier, espaces et sacs dédiés au tri, etc.)

3.5. BÂTIMENT ET BILAN MATIÈRE

3.5.1. Méthode d'analyse du bâtiment rénové et de son bilan matière

Développement de l'approche

Si nous considérons le bâtiment de manière réductrice comme une somme de matières formant un tout, il est envisageable de l'appréhender comme un stock immobile pouvant être déconstruit et dissocié en fin de vie comme source de nouveaux matériaux. Ainsi la construction est interprétée comme une banque de matériaux ou un gisement de matières en attente de « secondes vies ». Néanmoins, la détermination de la fin de vie des éléments mis en œuvre est délicate, car elle dépend de nombreux facteurs à la fois prévisibles et imprévisibles: nature du matériau, type d'assemblage, qualité et fréquence de l'entretien, modifications opérées pour une

remise en conformité (exigences thermiques, de sécurité…), besoin et volonté du propriétaire, etc. C'est dans cette optique que BRAND définit ses « couches » (ou strates) comme devant être dissociables, car présentant des durées de vie et degrés de remplacement différents.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous ne pouvons prétendre à une gestion optimisée de nos ressources matérielles locales (par un bouclage, une mutualisation ou une substitution des flux) que par une meilleure connaissance des gisements et des circulations de matières au sein du système. Or, si la connaissance du stock matériel actuellement contenu dans le parc bâti bruxellois fait défaut, la compréhension du nouveau stock que nous sommes en train de créer avec la rénovation énergétique des logements est encore plus lacunaire. En partant de cas concrets, nous proposons de développer ici une méthode pour étudier l'implication de la rénovation sur les gisements (ou stocks)[28] et dynamiques de flux de matières. La démarche suivie se déroule en trois temps:

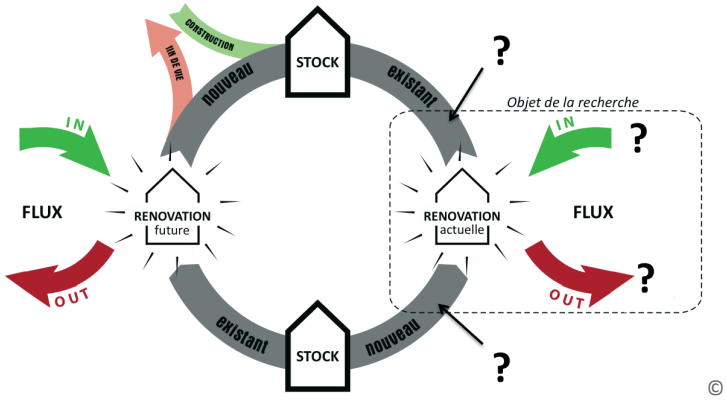
- l'identification et la quantification des matières en présence avant rénovation. Il s'agit donc d'analyser l'état initial du bâti ou **stock existant** (caractère statique). Ce stock va être modifié par le processus de rénovation afin de répondre aux nécessités et enjeux énergétiques et environnementaux actuels.
- l'identification et la quantification des flux IN (matériaux neufs) et des flux OUT (déchets) de matières générés par la rénovation. Cette étape concerne l'analyse des **mouvements de matières** comme conséquences de l'opération de rénovation (caractère dynamique).
- l'identification et la quantification des matières en présence après rénovation. Ce **nouveau stock** (ou stock projeté) se compose en partie de matières neuves et existantes (caractère statique). Il constituera la base du stock initial des opérations de transformation futures.

Cette approche permet non seulement de comptabiliser les flux de matière de l'opération de rénovation, mais également de faire ressortir le potentiel de matières présentes dans le bâtiment avant et après transformation. De nouveau, nous avons

28 - Dans cet ouvrage, nous n'avons pas réellement fait de distinction entre le "stock" et le "gisement" pour parler des matières, possibles ressources, contenues dans le parc immobilier. Néanmoins, sans doute le terme "gisement" apparaît-il plus approprié. En effet, le "stock" (terme souvent utilisé en économie) fait référence à une quantité de matières enteposées en vue de leur (ré)utilisation ultérieure. Le caractère "disponible" de ces matières ne semble pas tout à fait adapté au bâti construit qui nécessite une opération de démontage (voire de démolition) préalable avant que ses matières constituantes ne soient valorisées comme ressources. Le terme "gisement" (principalement employé dans le secteur minier), par contre, fait référence à une accumulation.de matières (normalement minéraux) potentiellement exploitables. Nous y retrouvons donc la notion de "potentiel" et "d'exploitation" plus approprié à la phase de démontage ou démantèlement préalable. En conclusion, nous parlerons préférentiellement de "stock" concernant l'échelle du bâtiment et de son *bilan matière,* alors que nous préférerons le terme de "gisement" pour les échelles plus larges (urbaines).

structuré notre analyse qualitative et quantitative sur base du principe de décomposition de paroi présenté précédemment. Chaque composante (toiture, façade, dalles, planchers, murs) est étudiée selon sa composition avant et après rénovation. Cette démarche permet l'**identification** des matières en présence, des matières nouvellement ajoutées ainsi que des matières supprimées lors de l'opération de rénovation. La **quantification** est opérée sur base des plans, métrés et cahiers des charges. Elle est structurée par composantes et layers. Un regroupement par catégorie de matière est ensuite opéré pour permettre d'en dégager la ventilation. Préalablement à l'analyse, nous avons défini les différents types de matières étudiées ainsi que les unités considérées dans la quantification. La figure ci-dessous représente la démarche proposée intégrée dans le cycle de vie du bâtiment:

Figure 3.14: Schéma des 3 phases d'analyse



Catégories de matières étudiées

Les matières en présence dans le bâtiment et additionnées ou soustraites lors de la rénovation ont été identifiées et regroupées selon leur nature en huit catégories (ou familles) différentes reprises ci-dessous. Ces catégories seront également reprises dans les analyses proposées dans la quatrième partie de ce travail.

Inertes

Nous l'avons mentionné dans la partie 2, la fraction des inertes représente certainement la part la plus importante des matières en présence dans la typologie de bâtiment étudiée. Pour rappel, les inertes sont des matières qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne sont ni biodégradables, ni incinérables et qui ne présentent pas de risques de pollution nuisible à l'environnement ou à la santé humaine[29].
Nous proposons de subdiviser ce type de matières en différentes sous-catégories :

29 - Source: Directive 1999/31/CE

- les bétons et ciments reprenant les blocs de béton, les éléments coulés in situ (chape, dalle) ou hors site (linteaux)[30], certains revêtements de murs (enduit minéral, cimentage) ou de sol (dalles, béton lissé…)
- les terres cuites sous forme de tuiles, maçonneries (briques pleines, blocs creux …), revêtement de murs (parement) ou revêtement de sol (dalles en terre cuite)
- les faïences et céramiques
- les pierres naturelles ou reconstituées (pierre bleue, marbre…)
- les asphaltes et matières bitumineuses que l'on retrouve principalement sous forme d'étanchéité de toiture
- le sable (sable stabilisé sous la dalle de terre-plein)

Bois et dérivés

Il s'agit également d'une fraction en forte présence dans le bâti existant. Le bois est un des premiers matériaux utilisés par l'homme dans la construction. Il s'agit d'une matière végétale, organique de nature renouvelable et présentant de nombreuses caractéristiques le définissant comme un matériau particulièrement adapté pour la construction (inertie, assemblages, résistance…) [TRACHTE, 2012]. Dans les bâtiments existants analysés, on le retrouve principalement comme layer structurel des planchers (gîtes) et toitures (pannes, chevrons…) ou comme revêtement sous forme de parquet.
Nous proposons de reprendre les éléments en bois selon la différenciation suivante:

- les bois massifs ou pleins dont les sections varient selon la fonction (lattes, gîtes, pannes, parquet, bardeau…), ces bois sont séparés selon qu'ils sont traités ou non. Les poutres et éléments en lamellé-collé sont également considérés dans cette sous-catégorie.
- les dérivés du bois sous forme de panneaux (OSB, MDF, contreplaqué, multiplex…)

Métaux

Les métaux ferreux sont particulièrement présents dans le secteur de la construction sous forme de fonte, d'acier, d'acier inoxydable (acier résistant à la corrosion), d'acier Cor-Ten,etc. Ils présentent l'avantage d'être facilement séparables (tri magnétique) et d'être recyclables à l'infini, cependant leur fabrication est fortement énergivore. Les métaux non-ferreux rencontrés dans la construction concernent essentiellement le cuivre, le zinc et l'aluminium. Ces derniers sont des matériaux se prêtant particulièrement bien au recyclage puisqu'ils ont l'avantage de ne subir aucune altération de leurs propriétés [TRACHTE, 2012].

30 - Certains bétons sont armés. Lors d'une démolition, les armatures sont alors enlevées un maximum in situ, avant de suivre une séparation dans les centres de tri et enfin dans les centres de concassage. Les métaux récupérés sont alors redirigés vers les filières adéquates.

Les métaux seront ici classés selon qu'ils sont:
- ferreux: fer, acier, acier inoxydable, fonte
- non-ferreux: zinc, cuivre, plomb, aluminium...

Liants minéraux et dérivés

Les liants minéraux et dérivés résultent d'un mélange d'eau et de gypse et concernent une part importante des finitions intérieures des bâtiments de logement. Ils font l'objet de démolitions/reconstructions plus ou moins importantes selon les cas de rénovations. Ainsi, lorsqu'il est question d'intégrer les techniques (électricité, plomberie, gaines de ventilation) dans les murs ou faux plafonds, ce sont les éléments qui subiront le plus d'interventions de destruction. Notons que les enduits de bâtiments anciens sont souvent réalisés à base de chaux et qui plus est, sont souvent armés avec des fibres végétales ou animales rendant leur recyclage quasiment impossible. Nous différencierons plusieurs sous-catégories de liants minéraux selon leur forme:
- les enduits (plafonnage)
- les mortiers (en général assimilés aux blocs qu'ils solidarisent)
- les plaques de carton-plâtre ou de fibroplâtre
- les blocs silicocalcaires

Verre

Le verre se compose essentiellement de sable de silice. Il s'agit d'un matériau présent dans une grande majorité des constructions qui propose de nombreux avantages: il offre transparence et apport de lumière naturelle dans nos bâtiments tout en assurant la protection aux occupants. Il présente dureté et densité importantes, mais il est également très cassant. De nombreuses filières de recyclage du verre existent à l'heure actuelle (laine de verre, verre cellulaire…). Dans les constructions étudiées, le verre rencontré concerne surtout les vitrages des châssis de fenêtre. En fonction du type et/ou de l'époque de fabrication, le verre peut être coulé ou soufflé (jusque fin XIXe siècle), étiré (début XXe siècle), flotté, armé, trempé, sérigraphié.... Le verre *float* est le verre le plus usité à l'heure actuelle dans le secteur de la construction. Il s'agit d'un verre clair présentant une surface plane et une qualité supérieure [TRACHTE, 2012]. Le verre est le plus souvent placé en multicouche que ce soit sous forme de double vitrage ou de triple vitrage. Chaque vitre est séparée par une couche intermédiaire remplie d'air ou de gaz rare, épaisse de 8 à 24 mm, étanche à l'air et maintenue par des intercalaires. Des films ou traitements supplémentaires peuvent y être ajoutés afin d'améliorer certaines caractéristiques du complexe multicouche. Ces caractéristiques de verres améliorés réduisent en général les opportunités de recyclage. Dans cette analyse, nous différencierons les verres selon qu'ils soient:
- du simple vitrage (ancien)
- du double ou triple vitrage (nouveau)

Matières plastiques et dérivés

Les plastiques représentent une famille relativement nouvelle de matériau comparativement aux autres précitées. Issues de la transformation chimique (polymérisation) de matières naturelles et renouvelables et dont la fabrication nécessite des matières premières fossiles (charbon, pétrole, gaz), les matières plastiques représentent un pur produit de notre ère industrielle et apparaissent en masse après la Seconde Guerre mondiale [TRACHTE, 2012]. Dans le secteur de la construction, ce matériau est devenu incontournable et se présente sous diverses formes : châssis (PVC), revêtements de sol (vinyle, résine époxy), étanchéités (EPDM, polyéthylène), éléments techniques et d'équipements (gainage des câbles, tuyauteries pour l'évacuation des eaux usées…), revêtement de façade ou encore isolants. Ces derniers seront néanmoins repris dans la catégorie *isolants* pour l'analyse du bilan matière.
Nous proposons de considérer les matières plastiques selon les trois types principaux rencontrés :

- les thermoplastiques comme le polyéthylène (PE), le polychlorure de vinyle (PVC), le polypropylène (PP), etc. Ces plastiques deviennent mous et malléables avec la chaleur et durcissent sous l'effet du froid. Cette caractéristique rend possible leur recyclage : la matière est broyée pour être ensuite refondue et reprendre une nouvelle forme.
- les thermodurcissables comme les résines époxy (EP), les résines phénoliques (PF), etc. Au contraire, ces plastiques deviennent durs et cassants une fois qu'ils sont chauffés rendant leur recyclage difficile voir impossible.
- les élastomères comme le caoutchouc ou l'éthylène-propylène monomère (EPDM). Ces plastiques possèdent la particularité de reprendre leur forme (sans se rompre) après étirement. Ils présentent des propriétés d'élasticité importantes, sont étanches à l'air et à l'eau et possèdent une bonne longévité. Ils peuvent être de nature thermoplastique (plus rarement) ou thermodurcissable.

Isolants

Il s'agit sans doute de la matière la plus caractéristique des flux IN intervenant dans la rénovation « exemplaire ». Cette catégorie de matériaux a été déjà définie précédemment au point 3.4.1. Sur cette base, nous retiendrons le classement suivant pour les matériaux isolants :

- les isolants naturels subdivisés eux-mêmes en organiques (cellulose, fibre de bois, liège...) et inorganiques (perlite, argile expansée...)
- les isolants synthétiques également subdivisés en organiques (EPS, XPS, PUR...) et inorganiques (laine de verre, laine de roche, verre cellulaire...)

Terres

Les terres ont été ici reprises comme fraction à part entière. Il est un fait certain

que les quantités générées dépendront fortement d'un projet à l'autre. Dans le cas des projets étudiés, cette production de terre s'explique principalement par l'excavation (en sous-sol ou sur terre-plein) justifiée entre autres par la nécessité d'isoler ou par le remaniement du profil du terrain arrière. Dans certains cas, cette quantité sera nulle. Cela se justifie également par le fait que les projets étudiés sont des rénovations et non des constructions neuves qui nécessitent souvent des travaux de déblaiement importants. Dans l'éventualité où des quantités de terres sont enlevées du site, il est important de pouvoir déterminer si ces dernières sont polluées ou non. L'inventaire de l'état du sol réalisé en 2001 et mis à jour récemment par Bruxelles Environnement reprend la liste des parcelles polluées ou potentiellement polluées sur le territoire régional. La carte d'état du sol est un outil accessible à tous depuis 2013. Il est cependant possible de demander une attestation pour 30 €/parcelle cadastrale qui reprend les informations détaillées de l'état du sol. Ce document n'est obligatoire que dans certains cas (activités anciennes ou futures à risques…). Dans cette analyse, nous différencierons:

- les terres non formées (terre d'excavation, enduit d'argile)
- les terres formées (blocs de terre crue compressée) bien que cette dernière forme soit inexistante dans les projets étudiés.

Unités

L'analyse qualitative et quantitative dénommée *bilan matière* sera réalisée sur base de 2 unités complémentaires: le poids et le volume. Dans le secteur du déchet, l'unité de prédilection est le kg ou la tonne. Or, les prix de location de conteneurs sont fournis en fonction du volume de déchet à évacuer. Mais la raison du choix de cette double unité provient de la nature des matériaux et de leur représentativité dans le bâtiment. En effet, nous observons lors des opérations de rénovation énergétique et de construction neuve qu'une part de plus en plus importante est occupée par les matériaux isolants. Cependant, si seule l'unité de poids est considérée, l'impact de ces matériaux (présentant une masse volumique faible) sera négligeable alors qu'en volume, ils constituent une proportion importante de l'enveloppe du bâtiment. Dans la mesure où la fraction des isolants va prendre une place plus conséquente à l'avenir avec l'avènement des considérations de performances énergétiques, nous avons fait le choix d'étudier les flux et stocks de matières selon l'unité de référence utilisée dans le secteur du déchet (poids) et selon l'unité de volume.

Limites de l'approche

L'analyse telle que décrite ci-dessus présente toutefois ses limites. Tout d'abord, il s'agit d'identifier les matières en présence dans l'existant, dans l'opération de rénovation et ensuite dans la situation projetée après travaux. Cette identification se présente sous la forme d'une énumération de matières sans considération de facteurs pouvant influencer la récupération réelle de ces dernières sous forme de fractions

pures. Autrement dit, entre l'analyse effectuée définissant la part de chaque fraction dans une approche optimale et la réalité du terrain, il existe une marge de différence plus ou moins importante selon les cas. En effet, dans certaines situations, les procédés constructifs empêchent une séparation aisée des matières de nature diverse. L'ensemble ne pouvant être dissocié, il est alors voué à rejoindre un conteneur mélange et ne peut être récupéré en vue d'un réemploi ou d'un recyclage éventuel. Nous parlerons donc préférentiellement de **flux « potentiels » de matière** générés par la rénovation. Nous traiterons du potentiel de valorisation et de la valorisation effective des matières dans la quatrième partie de cette recherche.

Notons également que les volumes indiqués sont calculés sans considérer le foisonnement des matières enlevées. Le foisonnement peut être défini comme une augmentation du volume suite à un changement d'état. Dans le cas de rénovation, la démolition produit des quantités de déchets incluant la présence de vides d'air entre les différents « morceaux » de matériaux démolis. Les quantités fournies par l'analyse ne concernent donc pas les volumes réellement produits en cas de démolition (ceux-ci seront en effet beaucoup plus importants), elles concernent plutôt les volumes superposés qu'occuperaient les matériaux dans leur forme initiale (comme quand les matériaux neufs sont livrés sur chantier).

Ensuite, certains éléments constitutifs du bâtiment et certains types de flux OUT ont été exclus de l'analyse. Deux raisons expliquent ce choix : tout d'abord il semble difficile d'être complètement exhaustif dans la comptabilisation et parfois l'identification des matières, nous avons préféré dès lors centraliser l'étude sur certaines composantes sûres (enveloppe, parois intérieures). Ensuite, le manque d'informations et de données relatives à certaines matières représente un obstacle majeur dans cette comptabilité matérielle. De cette façon, tous les éléments techniques et d'équipements, bien qu'ils interviennent dans toute rénovation, ne seront pas considérés dans le *bilan de matière*. La détermination du nombre de mètres courants, de la composition, du volume et du poids des câbles, gaines, tuyauteries et appareils techniques représente en effet une tâche complexe et ardue. Le mobilier fixe ou mobile n'intervient pas non plus dans la comptabilité. Et enfin, les chutes et déchets d'emballage provenant des nouveaux matériaux mis en œuvre ne sont également pas pris en considération. Dans ce dernier cas, c'est le manque d'information qui justifie ce choix. Au début de la recherche, la volonté de suivre des chantiers en cours (répondant à l'objet d'étude) pour permettre la quantification de ce type de déchets avait été formulée, mais cette démarche n'a pu être effectuée. D'une part, les projets de rénovation répondant aux critères de sélection étaient soit déjà réalisés, soit en cours de construction générant un manque de données disponibles pour la part de travaux déjà réalisés. D'autre part, la nature de l'opération (rénovation et non-construction neuve) et l'échelle relativement réduite des constructions étudiées (entre 100 et 500 m^2) ne justifient pas toujours la mise en place d'une traçabilité de ce type de déchets (chutes et emballages) par les entrepreneurs.

Notons enfin que la nature même des projets étudiés, s'intégrant dans l'appel à projet Bâtiments Exemplaires, influence clairement la nature d'une partie des flux et des stocks de matières engendrés par la rénovation. Effectivement, pour pouvoir être sélectionnés, les projets doivent répondre à un certain nombre de critères. Le choix de matériaux durables et à faible impact environnemental constitue notamment une condition importante de sélection. Néanmoins, dans la mesure où la RBC ambitionne l'encouragement de ce type de pratiques dans la rénovation, l'analyse de tels projets précurseurs ou « exemplaires » se justifie entièrement.

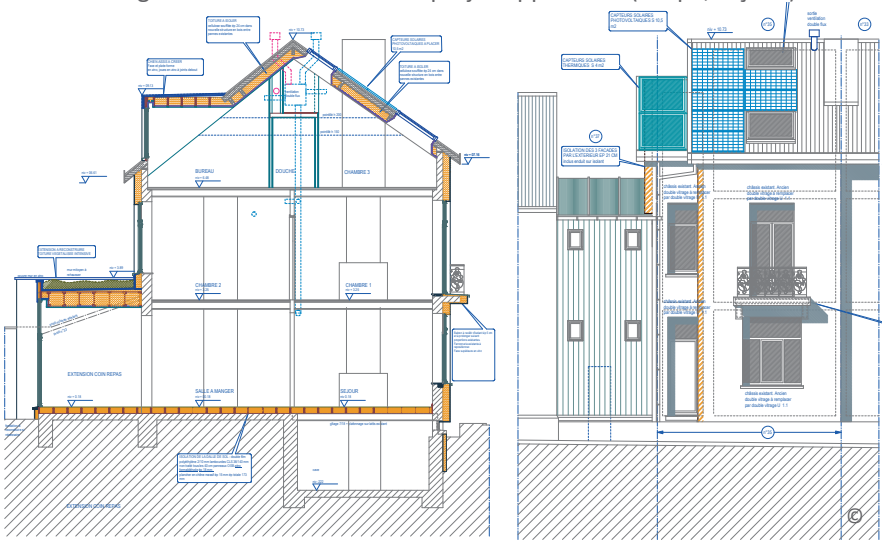
3.5.2. Analyse approfondie du projet n°1: Application

Comme expliqué précédemment, le bâtiment étudié a d'abord été décomposé selon les composantes et layers constituant la construction et suivant les trois étapes suivantes : avant, pendant et après travaux. La décomposition des parois est réalisée sur base des plans, métrés et données techniques fournis par l'architecte. Chaque matière est ainsi identifiée et ensuite comptabilisée suivant ses caractéristiques dimensionnelles et sa situation dans la composante considérée. Il s'agit donc ici de réaliser une première analyse détaillée permettant l'application de la méthodologie élaborée pouvant être appliquée à d'autres bâtiments.

a. Présentation du projet Application

Le projet concerne la rénovation d'une maison unifamiliale datant de 1921 vers des critères de très basse énergie (inférieure à 30 kWh/m^2. an). Le bâtiment mitoyen est situé en retrait par rapport au trottoir. L'exposition importante d'un de ses murs mitoyens le rapproche légèrement d'une configuration 3 façades. Il s'agit d'un rez +1 avec niveau sous comble réaménagé en chambres avec salle de douche. L'organisation du plan se présente sous forme de deux pièces en enfilade avec une annexe supplémentaire se prolongeant à l'étage sur la moitié de sa surface. L'agencement spatial intérieur étant fonctionnel, les travaux réalisés concernent essentiellement l'amélioration des performances énergétiques par isolation de l'enveloppe et reconstruction d'une partie de l'annexe.

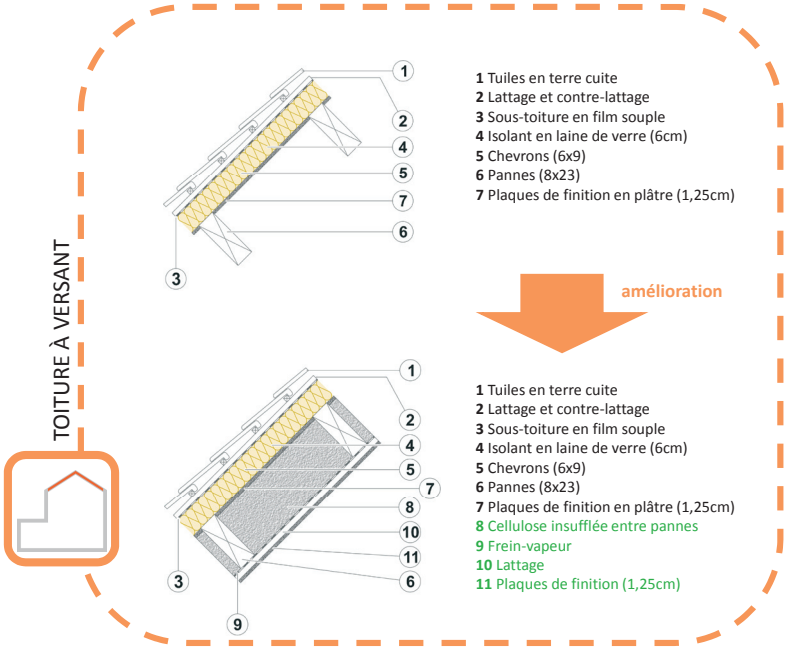
Figure 3.15: Présentation du projet Application (coupe, façade)



source: Gerard Bedoret, atelier d'architecture Gérard Bedoret

b. Synthèse du type d'intervention par composantes : décomposition de parois[31]

Figure 3.16: Intervention de rénovation sur toiture à versant



31 - Les matériaux neufs ajoutés lors de l'opération de rénovation sont repris en vert.

Figure 3.17: Intervention de rénovation sur toiture plate

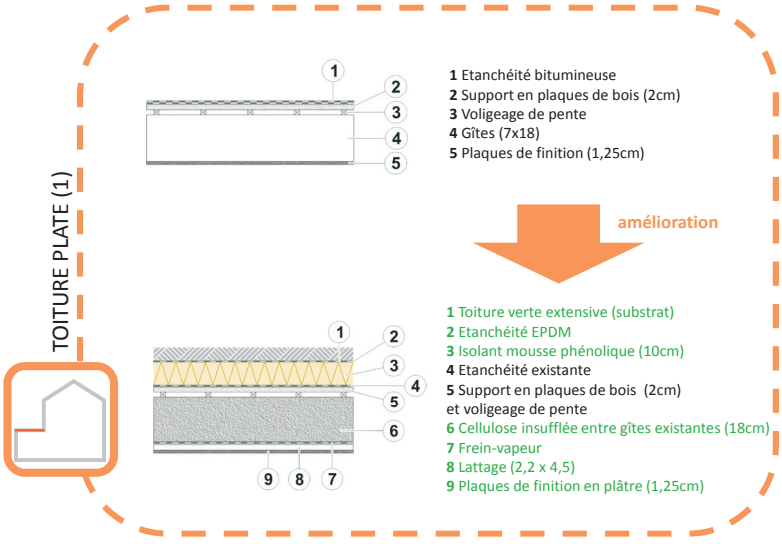


Figure 3.18: Démolition de la toiture inclinée (annexe) pour une nouvelle toiture plate

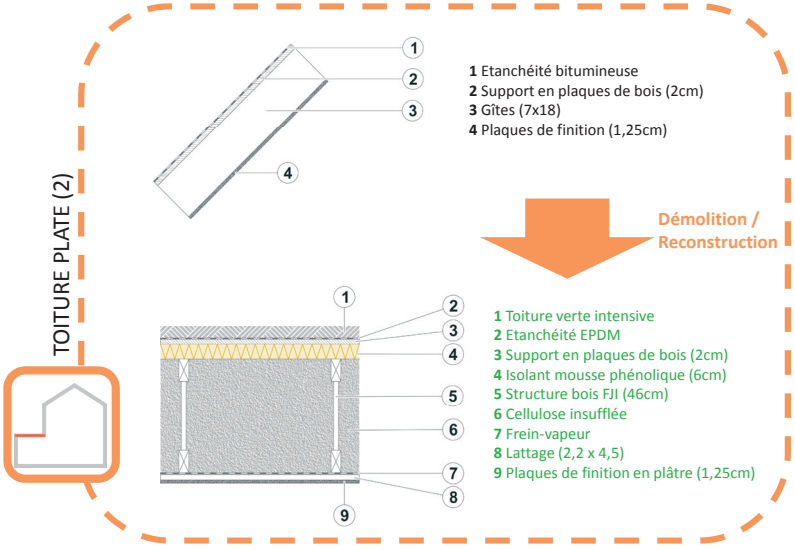


Figure 3.19: Intervention de rénovation sur façades avant/arrière

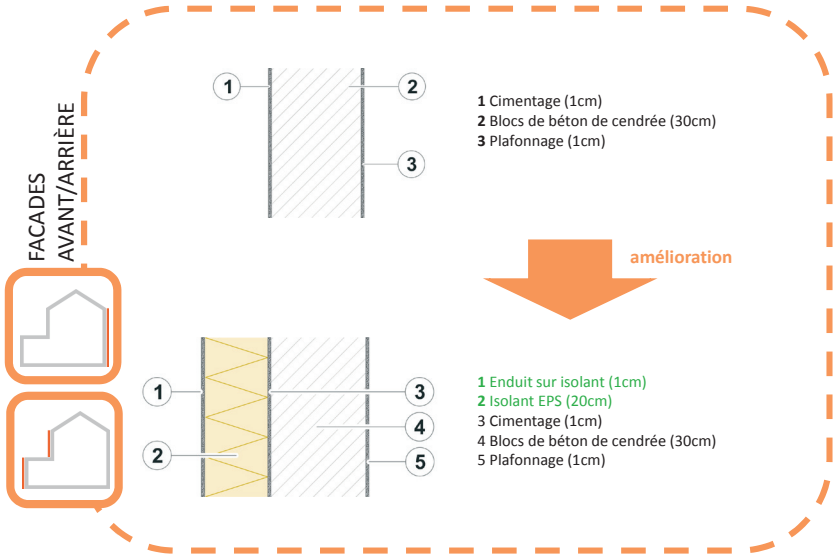


Figure 3.20: Intervention de rénovation sur mitoyens

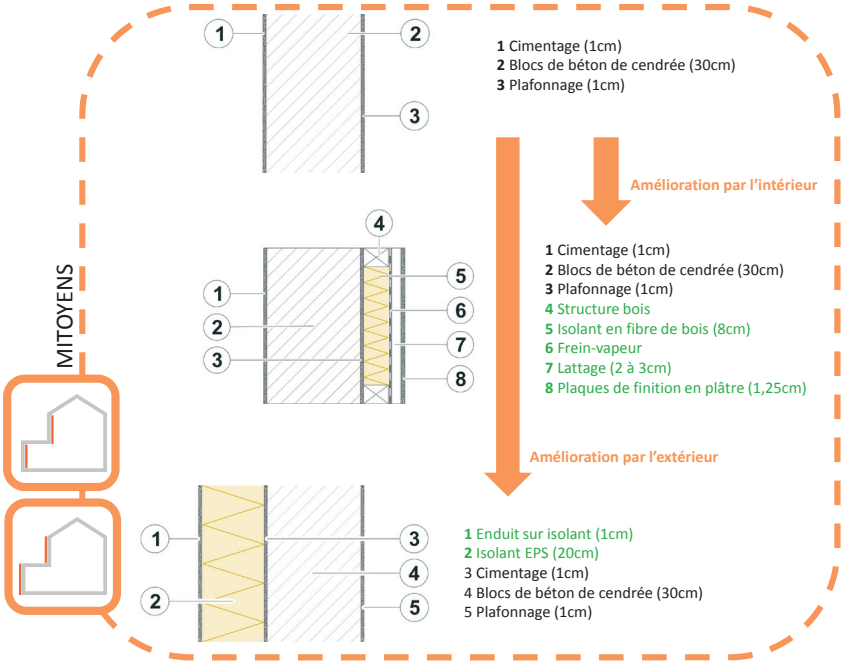


Figure 3.21: Intervention de rénovation sur dalle de sol sur terre-plein

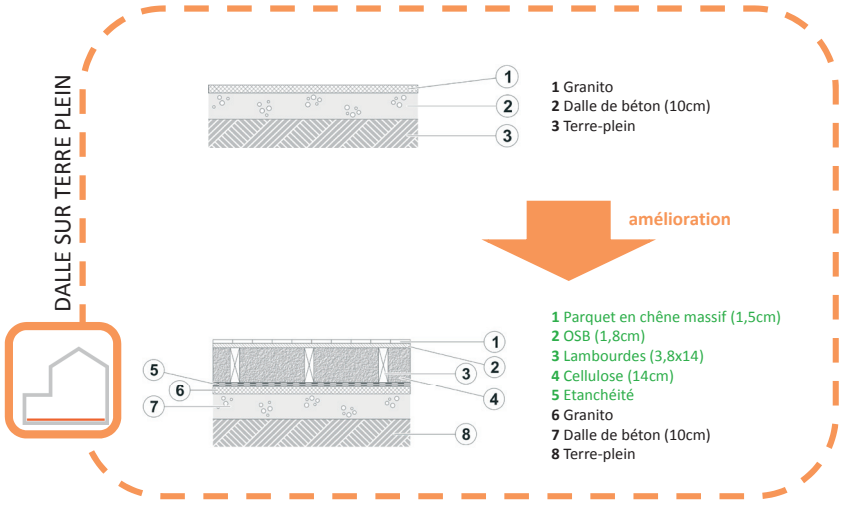
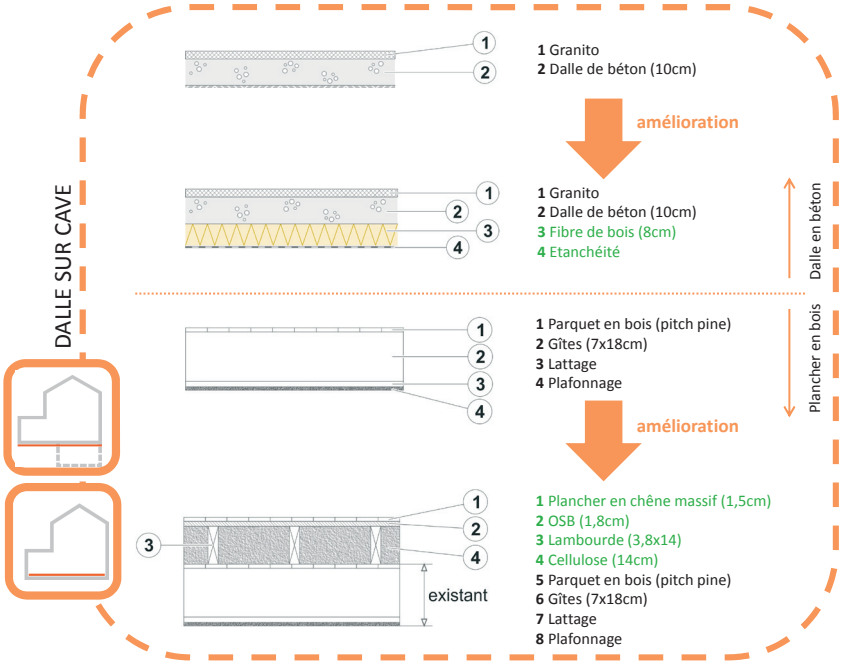


Figure 3.22: Intervention de rénovation sur dalle de sol sur cave



c. Bilan matière avant rénovation

Le bilan matière du bâtiment avant rénovation présente une importante part d'inertes avec environ 66,5 tonnes soit 83 m^3, ce qui représente près de 80% des matières en présence. Dans cette fraction, la proportion de *béton et ciment* est prépondérante (95%). Cette tendance s'explique par le fait que la structure portante de l'édifice est réalisée en blocs creux de béton de cendrée. Ce type de blocs, rencontrés dans les constructions suivant la Première Guerre mondiale, utilisent des cendres (principalement de charbon) comme substitut de certains granulats, rendant les blocs de béton plus légers, mais également moins résistants (plus « friables »). Dans d'autres constructions répondant à l'objet d'étude, les briques pleines seront généralement préférées aux blocs de béton de cendrée. Les autres matières en présence concernent principalement les *liants minéraux et dérivés* sous forme de plafonnage (12% du poids total) et le *bois* (7% du poids total), suivis par les fractions de *verre* (314 kg), d'*isolant* (277 kg) et de *matières plastiques* (48 kg). L'isolant concerne uniquement la faible couche de laine de verre présente dans la toiture alors que les matières plastiques concernent le film de sous-toiture et la coupole de l'annexe.

Figure 3. 23: Poids respectifs des différents types de matière en présence avant rénovation[kg]

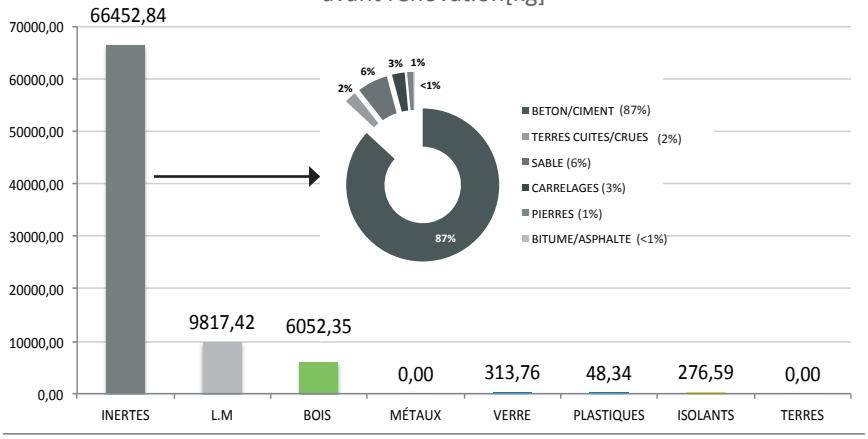


Figure 3. 24: Volumes respectifs des différents types de matière en présence avant rénovation[m³]

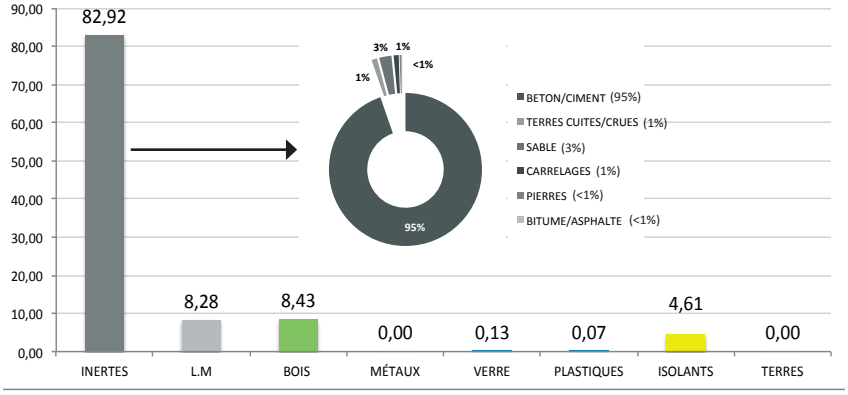
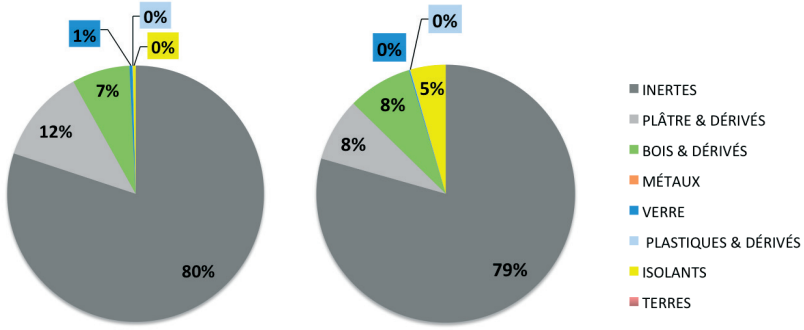


Figure 3.25: Ventilation des types de matières en présence avant rénovation en [kg] à gauche et [m³] à droite



d. Bilan matière de l'opération de rénovation

Nous pouvons constater que l'opération de rénovation présente une part considérable de matières neuves (IN) par rapport aux matières sortantes (OUT) avec 66% du poids total matière (in/out) et 92% du volume. Ce constat s'explique en grande partie par la démarche du maître d'ouvrage et de son architecte de conserver au maximum l'ensemble construit (les démolitions ont été réduites au strict minimum). De plus, la nette différence entre la représentativité en poids et en volume peut s'expliquer par la quantité considérable d'isolant (flux IN) mis en œuvre lors de la rénovation. Ces derniers (principalement de l'EPS et de la cellulose) sont des matériaux relativement légers en comparaison des inertes, mais n'en représentent pas moins un volume important.

Figure 3.26: Proportion des flux IN-OUT

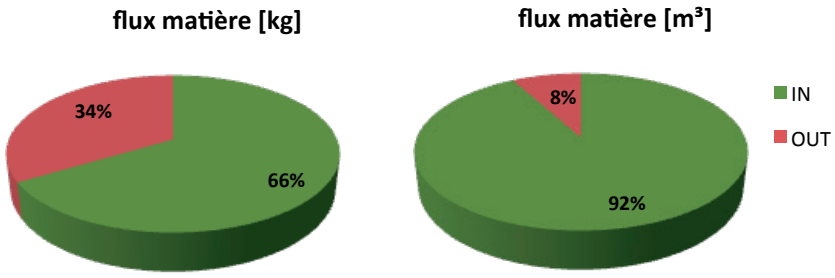


Figure 3.27: Poids respectifs des flux de matières IN et OUT par fraction [kg]

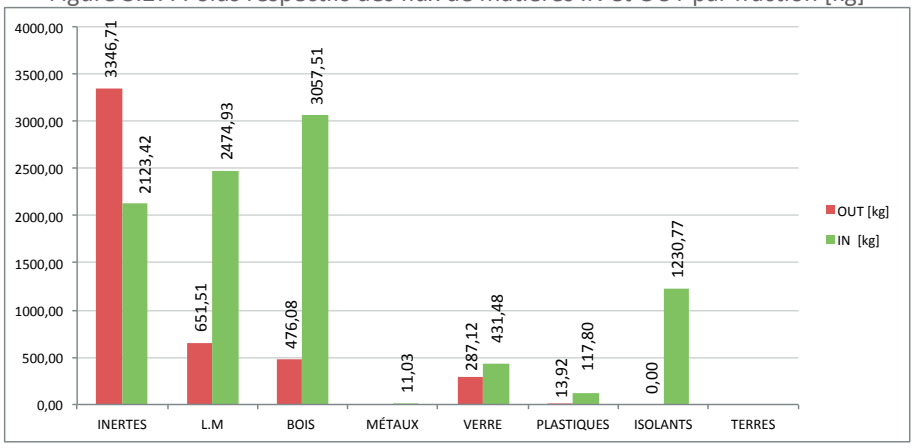
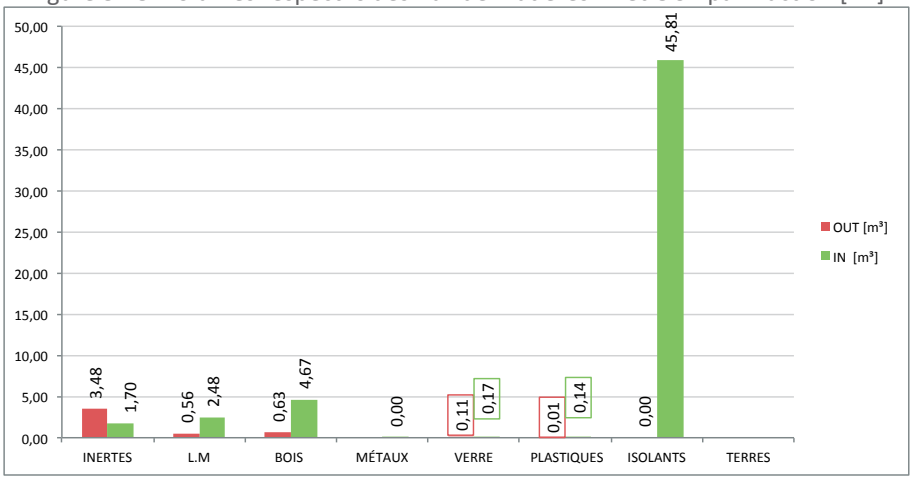


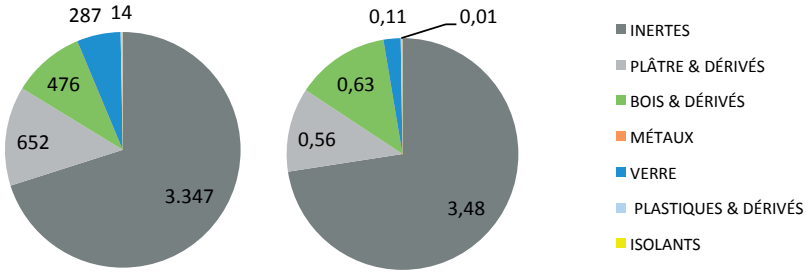
Figure 3.28: Volumes respectifs des flux de matières IN et OUT par fraction [m³]



Caractérisation du flux de matières OUT :

Les démolitions opérées concernent les inertes en majorité avec plus de 3 tonnes produites contre environ une demi-tonne respectivement pour les fractions liants minéraux et bois et enfin, 300 kg de verre (la fraction des matières plastiques est insignifiante). Les inertes proviennent essentiellement des démolitions structurelles (annexe) et corps de cheminée ainsi que des matériaux en pierre naturelle (seuils en pierre bleue et corps de cheminée en marbre). Les quantités de verre s'expliquent par le changement de vitrage des châssis existants. L'origine des déchets de bois produits est diverse alors que les déchets de plâtre résultent de la démolition de faux plafonds et de plafonnage.

Figure 3.29: Ventilation des flux OUT en [kg] à gauche et [m³] à droite

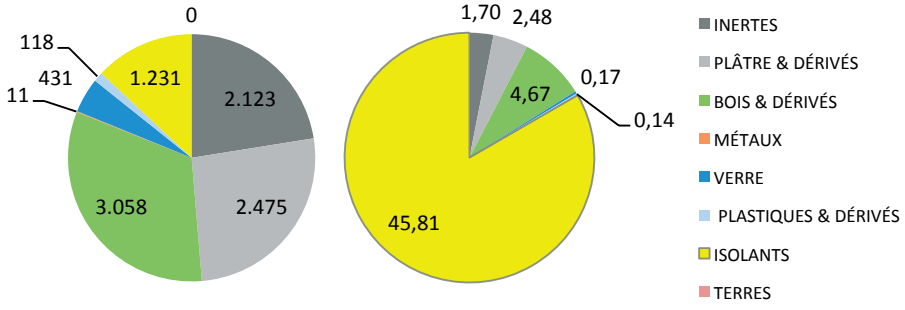


Caractérisation du flux de matières IN :

En termes de poids, les flux de matières neuves reprennent en premier lieu le bois et ses dérivés (3 tonnes) ensuite les liants minéraux (2,5 tonnes) et puis les inertes (2 tonnes). Les matériaux isolants malgré leur faible masse volumique représentent quand même 1,2 tonne suivis par les fractions de verre et de plastiques. Concernant le bilan de volume des flux IN, la part des isolants est considérable avec plus de 83% du volume total.

L'apport de bois neufs concerne surtout des éléments structurels (chevrons, gîtes, lambourdes…) utilisés dans les toitures et les planchers alors que les panneaux de bois (OSB, MDF, multiplex) sont employés principalement comme support (étanchéité, revêtement de sol…). La catégorie des liants minéraux se caractérise par le placement de plaques de plâtre en faux plafond. Les inertes quant à eux sont représentés en grande partie par les enduits posés sur l'isolation extérieure. Le verre nouvellement placé concerne du double voire du triple vitrage en façade arrière. Les produits plastiques se rapportent au placement d'étanchéités (toiture et plancher du rez-de-chaussée) et de frein-vapeur, éléments essentiels pour assurer l'étanchéité à l'air et à l'eau de l'habitation.

Figure 3.30: Ventilation des flux IN en [kg] à gauche et [m³] à droite



e. Bilan matière après rénovation

Comme le bilan avant rénovation, le bilan matière après rénovation se caractérise par une quantité d'inertes prépondérante avec 65 tonnes de matière soit un volume de 81 m³. En poids, cela représente 80% alors qu'en volume, la part des inertes est de 52%. Les fractions de plâtre et de bois restent dans le « peloton gagnant » avec respectivement 13% et 10% du poids total de matière. La catégorie des isolants est celle qui présente le plus de changement par rapport au bilan initial avec une représentation de 2% en termes de poids et près de 33% du volume total de matière en présence après rénovation. Il semble ici essentiel de prendre en considération aussi bien le poids que le volume des matières puisque ceux-ci ont une influence différente sur la ventilation de chacune des fractions dans le bilan total.

Figure 3. 31: Poids respectifs des différents types de matière en présence après rénovation [kg]

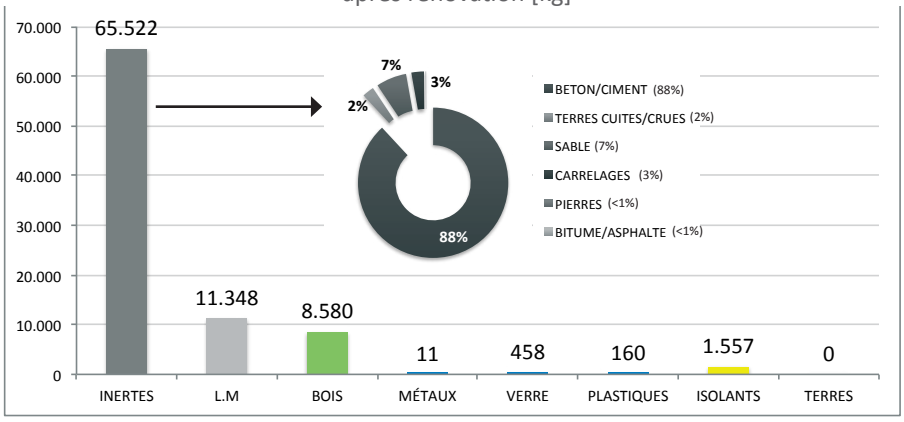


Figure 3. 32: Volumes respectifs des différents types de matière en présence après rénovation [m³]

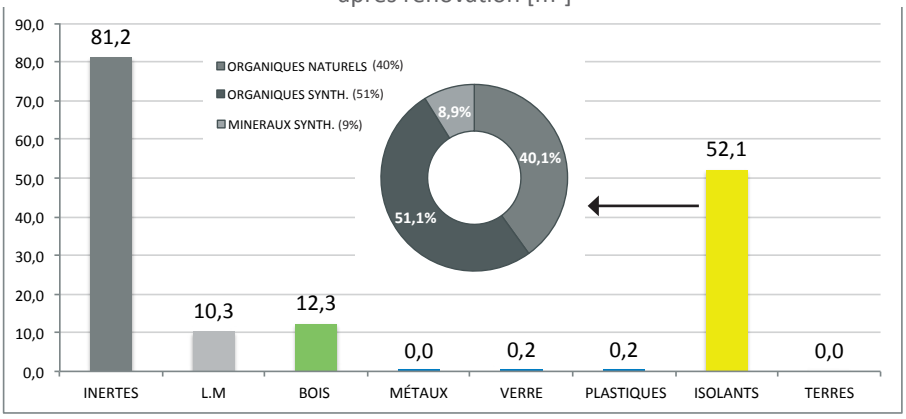
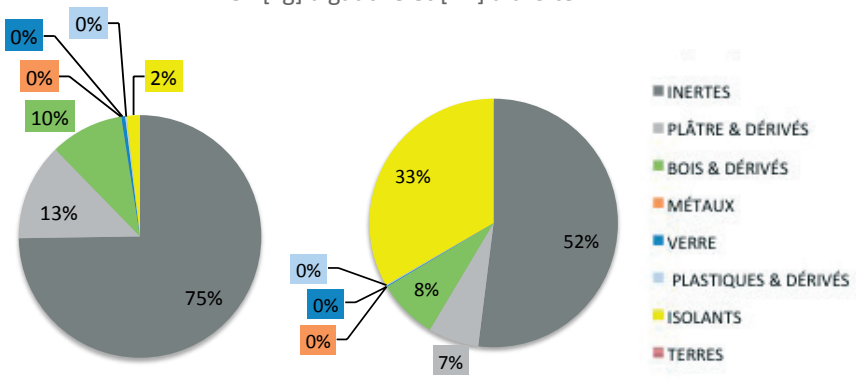


Figure 3.33: Ventilation des types de matières en présence après rénovation en [kg] à gauche et [m³] à droite

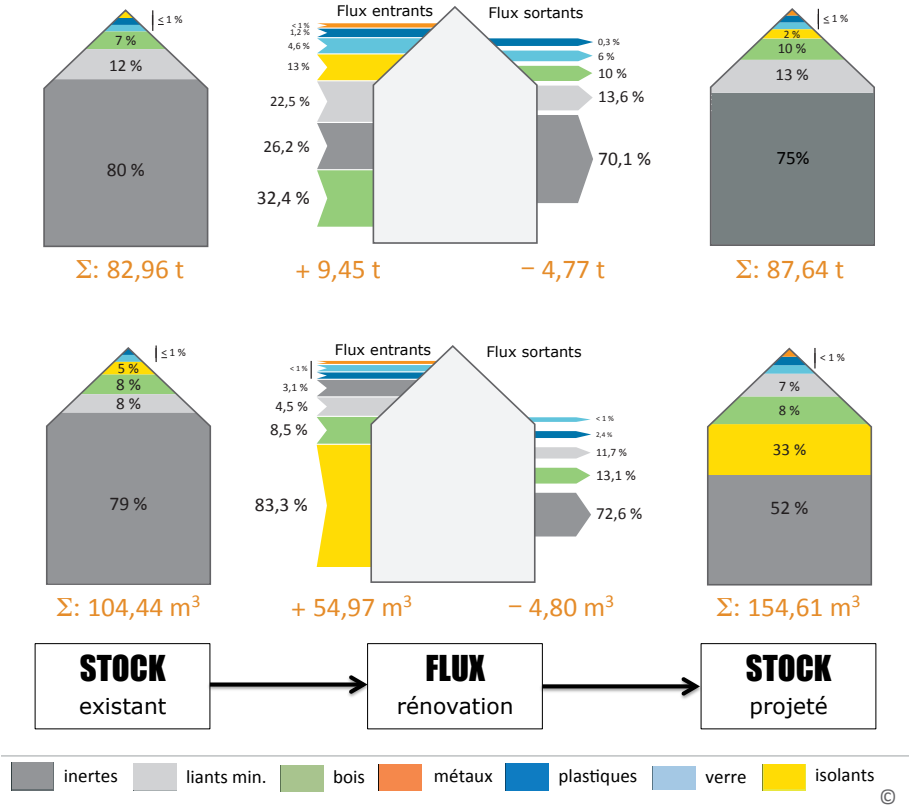


f. Bilan matière global de l'opération de rénovation (avant, pendant et après)

De manière générale, nous observons un apport important de matières neuves (IN) par rapport aux quantités enlevées (OUT). Le bilan quantitatif de matière est donc supérieur après rénovation. Seule la part des inertes semble diminuer par rapport au bilan initial existant: le flux OUT de cette catégorie de matériaux est en effet plus conséquent que le flux IN. La part de liants minéraux et dérivés concerne plus d'une tonne et demie (22,5% des flux IN et 13,6% des flux OUT) de matière ajoutée au stock initial, alors que les bois et dérivés représentent une addition matérielle de plus de 2 tonnes et demie (32,4% des flux IN et 10% des flux OUT) par rapport au gisement existant. Le verre ajouté concerne les doubles vitrages remplaçant les vitrages existants ainsi que les triples vitrages des nouveaux châssis placés en façade arrière. Les étanchéités (à l'air et à l'eau), reprises dans la catégorie plastiques et

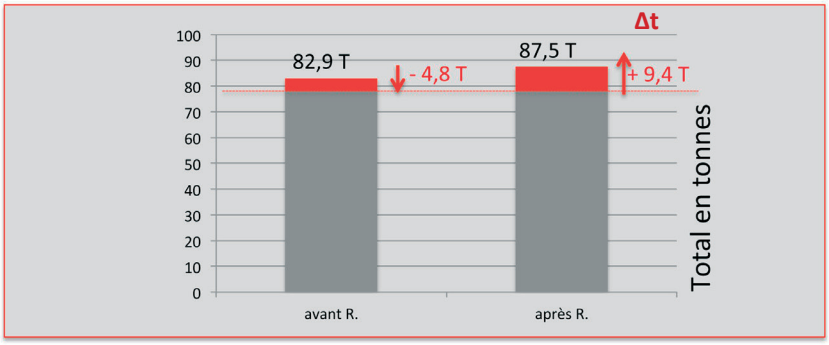
dérivés, présentent un faible volume. Il s'agit en effet de films recouvrant des surfaces importantes, mais dont l'épaisseur est tellement réduite que leur impact est limité. Ces types de matière sont relativement « neufs » comparativement aux matériaux présents avant intervention (les bois, plâtres et inertes sont utilisés depuis beaucoup plus longtemps). Un nouveau type de matériaux mis en oeuvre concerne certainement aussi les isolants. Avec un volume de plus de 50 m³ du stock projeté, la part de ces matériaux dans le bilan matière devient conséquent puisqu'elle concerne environ le tiers du volume total de matières contenues dans le bâtiment après rénovation. En matière de flux entrants, les isolants représentent en outre une quantité de matière ajoutée de plus d'une tonne, soit 13% du total des flux entrants en poids et ils constituent plus de 83% des flux IN considérant l'unité de volume. La figure ci-après reprend de manière schématique les résultats du bilan matière global de l'opération de rénovation comprenant les gisements (ou stocks) initiaux et projetés, les dynamiques de flux (IN et OUT) engendrés.

Figure 3.34: Bilan matière global de l'opération de rénovation
en poids (en haut) et en volume (en bas)



Le bilan général avant et après rénovation représente une information intéressante concernant les stocks de matières en présence et l'évolution du gisement que l'opération de rénovation vient modifier. Concernant les dynamiques de flux, ce n'est pas tellement le résultat de la différence entre flux IN et OUT qui importe tant (Δt), mais plutôt les quantités brassées par ces flux en considérant le bilan global de matière. Pour mieux comprendre, prenons l'exemple de deux rénovations présentant un bilan matière relativement similaire avant et après rénovation. Dans le premier cas, le parti est pris de réaliser des démolitions et reconstructions importantes engendrant des circulations de flux conséquentes (entrées et sorties confondues). Dans le second cas, le choix d'une conservation maximale est fait, les démolitions réduites auront pour conséquence une circulation de flux moins importante. Malgré un bilan matière avant/après rénovation similaire, l'impact en termes de consommation de ressources et de production de déchets sera beaucoup plus important dans le premier cas de figure. Le schéma ci-dessous illustre le bilan global du projet analysé en tenant compte des dynamiques de flux entrant dans l'opération de rénovation (en rouge). Comme expliqué précédemment, le bilan après rénovation est de façon générale plus conséquent: apport supplémentaire de matières par rapport à la situation initiale. Par contre, les dynamiques de flux engendrées par la rénovation (flux IN et OUT) sont relativement restreintes. Ce phénomène s'explique par le parti pris d'une démolition minimale exposée dans le descriptif du projet.

Figure 3.35: Bilan matière avant et après rénovation considérant le IN et le OUT Δt [kg]



3.6. IMPLICATION DE L'UTILISATION DE RATIOS AU NIVEAU RÉGIONAL

3.6.1. Les ratios des bilans matières, un outil d'extrapolation?

Dans ce chapitre, nous souhaitons nous placer dans une démarche prospective. Bien que les projets BATEX représentent une faible part du marché de la rénovation à Bruxelles, ils poursuivent cependant un objectif régional d'économies d'énergie et leur but est également de lancer et de promouvoir la rénovation énergétique et du-

rable des logements. Dans l'optique où ce type d'opération de rénovation peut se généraliser à l'échelle régionale, l'utilisation des ratios évalués comme outil d'extrapolation représente un avantage indéniable en matière de planification des flux de matières engendrés par la rénovation du parc résidentiel. En effet, bien qu'il soit difficile de prévoir le taux d'occurrence des rénovations et le type d'intervention qui sera réalisé à l'avenir, l'utilisation de ratios peut nous permettre d'anticiper le potentiel de matière générée (déchets ou matériaux neufs) selon les politiques de rénovation encouragées. Indirectement, cette anticipation peut amener la région bruxelloise à tendre vers une meilleure gestion et planification de l'utilisation des ressources locales potentielles contenues dans nos bâtiments.

Malheureusement, les analyses réalisées par la présente recherche ne suffisent pas à justifier l'utilisation des ratios obtenus à ces fins. L'échantillon d'analyse devrait en effet être beaucoup plus large pour proposer des données fiables. De plus, les rénovations s'inscrivant dans le concours BATEX restent limitées au niveau régional. La volonté d'intervention minimale caractérisant le projet étudié ne concerne pas non plus la majorité des projets BATEX présentant souvent un degré d'intervention de démolition sur l'existant beaucoup plus important (voir 3.4.3). Cependant, nous pensons que cette caractéristique d'intervention est une approche intéressante dans la mesure où elle permet une économie de matière, une intensification de l'usage de ces dernières et enfin, elle limite également les coûts dus à la démolition et l'évacuation des déchets. C'est sans doute ce dernier point qui fera que ce type d'intervention sera préférentiellement adopté si l'objectif de rénovation vers des critères énergétiques et durables élevés est poursuivi et encouragé par la région.

Malgré les limites de cette recherche quant à l'utilisation concrète des ratios comme outil d'anticipation, nous avons réalisé une simulation de ce que pourrait constituer ce type d'outil à l'échelle régionale sur base des résultats obtenus dans cette recherche. Pour utiliser les données récoltées, nous avons procédé comme suit:

- déterminer les ratios sur base du bilan matière de la rénovation (flux IN/OUT)
- déterminer la représentativité du bâtiment analysé sur le territoire régional en termes de m^2 et sur base de plusieurs paramètres: sa morphologie, la distribution de ses espaces intérieurs, et son année de construction
- adapter le taux de renouvellement annuel du parc immobilier en fonction de la politique de rénovation encouragée : nous proposons ici de retenir l'objectif de 2% poursuivi par l'Union Européenne en matière de renouvellement annuel du parc immobilier. Notons que cette valeur est loin de celle réalisée en réalité à Bruxelles, qui avoisine plutôt le demi-pour cent. Tout comme le type de rénovation étudié dans cette recherche, nous prenons le parti de retenir un objectif ambitieux qui deviendra sans doute un jour inévitable ou imposé. Cette valeur est adaptable en fonction des objectifs poursuivis par chaque région.
- appliquer les ratios (par simple multiplication) au nombre de m^2 du parc représentatif concerné par la rénovation nous fournit l'impact au niveau régional des

flux engendrés.

3.6.2. Exercice d'utilisation de l'outil ratio sur base du projet étudié

Détermination des ratios

En ce qui concerne le projet analysé, les ratios suivants ont été calculés selon une surface nette de 122 m². Cette rénovation se caractérise par une intervention sur l'existant relativement restreinte en matière de démolition et un ajout considérable de nouvelles matières (principalement isolants). Les ratios obtenus doivent donc être interprétés et utilisés pour représenter des projets conservant un maximum d'éléments de l'existant et rénovés énergétiquement vers des critères très basse énergie.

Tableau 3.5: Ratios en poids et volume avant et après rénovation

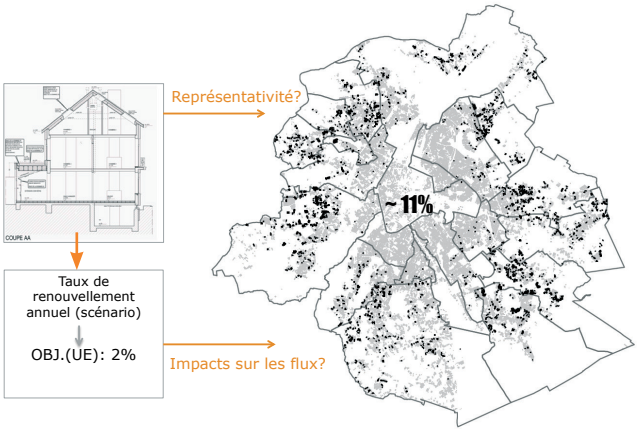
Ratios par m²				
Fractions-Types de matières	**[kg/m²]**		**[m³/m²]**	
	OUT	IN	OUT	IN
Inertes	27,43	17,41	0,03	0,01
Plâtre et dérivés	5,34	20,29	0,00	0,02
Bois et dérivés	3,90	25,06	0,01	0,04
Métaux	0,00	0,09	0,00	0,00
Verre	2,35	3,54	0,00	0,00
Plastiques et dérivés	0,11	0,97	0,00	0,00
Isolants	0,00	10,09	0,00	0,38
Terres	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**39,14**	**77,43**	**0,04**	**0,45**

Ces ratios suivent évidemment les tendances quantitatives des flux de matières OUT et IN de la rénovation avec une majorité de flux OUT pour les inertes et une importante part de 'plâtre', 'bois', et 'isolants' pour les flux IN.

Représentativité du type construit à l'échelle régionale

Si nous considérons la représentativité du projet analysé sur le territoire selon sa morphologie et l'agencement intérieur, il rejoint le type de la maison pour petite bourgeoisie d'après 1918. Ce type de construction représente environ 1.579.507 m² construits en RBC soit environ 11% des bâtiments résidentiels construits avant 1945.

Figure 3.36: Représentativité de l'objet d'étude à échelle régionale

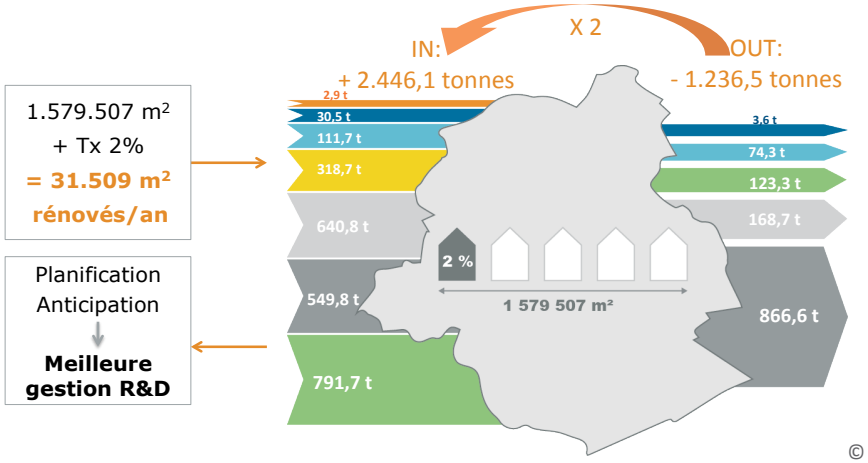


Source : Cartographie provenant de l'étude B3Retrotool

Quantités estimées des flux provenant de la rénovation à l'échelle régionale

Si nous considérons un taux de renouvellement optimal du parc de 2% annuel, cela correspond à environ 31.590 m² rénovés par an. Dans l'hypothèse où ces bâtiments sont rénovés vers des critères élevés en matière de performance énergétique tels que formulés dans le concours BATEX et, en considérant un minimum de démolitions tel que le parti suivi dans le projet étudié, les quantités de matières pouvant être engendrées par la rénovation du parc résidentiel à l'échelle régionale seront de cet ordre:

Figure 3.37: Impact de la rénovation sur les flux de matière à l'échelle régionale



Cette démarche peut être adaptée selon le taux de renouvellement poursuivi ou atteint, et selon le type d'intervention envisagé. Plus le nombre de projets analy-

sés sera important, plus les données de ratios seront ajustées. Néanmoins, ce type d'approche reste de l'ordre de l'estimation et de l'extrapolation plutôt qu'une quantification réellement produite. Dans le cas où ce type d'outil est utilisé à l'avenir, il est important de pouvoir compléter et faire correspondre les estimations réalisées avec la production réelle de flux.

3.7. CONCLUSIONS

Dans cette partie de la recherche, nous avons voulu identifier les tendances des opérations de rénovation définie comme exemplaire en RBC, ainsi que l'impact de ces dernières sur les dynamiques de flux et le gisement matériel que constitue le parc bâti.

Dans un premier temps, l'identification des tendances d'intervention (démolition et isolation) nous permet d'observer l'orientation actuelle de la rénovation « durable » bruxelloise (sorte de compte rendu des BATEX résidentiels rénovés), mais elle nous informe également sur la nature des déchets possiblement produits lors du processus de transformation. Ainsi, nous avons pu remarquer que la démolition complète s'applique préférentiellement aux composantes toitures plutôt qu'aux façades ou aux dalles de sol. La façade avant est la composante qui possède le taux de conservation le plus important alors la dalle sur cave est également conservée ou fait l'objet de démolitions partielles (aucune démolition complète répertoriée). Certains layers semblent également plus particulièrement touchés que d'autres par la démolition, comme le layer intérieur (couches de finition) démoli en tout ou en partie dans tous les cas de composantes, ou le layer extérieur démoli en partie principalement dans le cas des toitures et dalles sur terre-plein (appelé Layer supérieur dans ce cas). Nous verrons dans la quatrième partie de ce travail que les toitures, surtout à versant, présentent des caractéristiques constructives rendant possible le démontage, favorisant ainsi le réemploi éventuel de ses éléments, ce que la dalle en béton sur terre-plein (démolie entièrement dans 50% des cas) par exemple n'offre pas. Dans l'optique poursuivie dans cette recherche de valorisation des ressources matérielles locales (que représentent entre autres les déchets), il nous apparaît dès lors capital d'encourager la valorisation optimale[32] des éléments apparaissant comme plus facilement démolis. L'analyse des tendances d'isolation nous permet en outre d'identifier quels types d'isolants sont susceptibles d'être impliqués par la rénovation énergétique et durable du parc immobilier résidentiel bruxellois[33]. Ces types de matériaux constitueront également les déchets de demain que la région devra traiter. Connaître leur nature, récurrence et type d'utilisation représente donc une information particulière-

32 - Selon la hiérarchie d'action: prévention, préparation en vue du réemploi, recyclage, autres valorisations.

33 - Nous l'avons mentionné, le cas des BATEX ne constitue pas la majorité des rénovations énergétiques actuelles mais représente certainement un optimum vers lequel la région souhaiterait tendre (avec certaines adaptations suite au retour d'expérience existant).

ment intéressante. Dans ce cadre, nous avons pu observer que certains isolants sont plus fréquemment rencontrés dans le cas de certaines applications: le système ETICS (crépi sur isolant) utilise principalement de l'EPS ou de l'XPS, la cellulose est préférée en isolation dans l'épaisseur structurelle (quand elle est en bois), le PUR et la mousse résolique sont principalement utilisés sous les dalles de sol et en toiture plate. La fibre de bois, quant à elle, est utilisée sous différentes formes et à divers endroits. Notons qu'aucun projet n'a recours à de la laine de verre ou de la laine de roche en ce qui concerne l'isolation de l'enveloppe alors que ces matériaux représentent une part importante du marché des matériaux isolants en Belgique et ailleurs.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes penchés sur la question du **gisement** matériel que représente le bâtiment résidentiel et l'influence de la rénovation énergétique sur ce dernier, comprenant l'impact des flux sur la nouvelle répartition des matières en présence. Nous nous sommes intéressés à cette question pour deux raisons essentiellement. D'abord, ce type d'information et d'approche, directement inspirée de l'écologie industrielle présentée en première partie, est à l'heure actuelle encore inexistant à l'échelle du bâtiment et du construit. Ensuite, la connaissance des **stocks** et flux matériels constitue une étape essentielle pour pouvoir identifier de possibles mutualisations et substitutions de flux par la valorisation des déchets et stocks comme ressources locales, et ce, dans l'objectif de tendre vers une économie plus circulaire. Nous avons donc fait le choix de considérer l'opération d'amélioration du bâtiment sous un angle métabolique, et ce, concernant l'aspect matière uniquement. L'objectif de cette approche est d'établir un bilan qualitatif et quantitatif de l'opération avant, pendant et après rénovation, que nous avons appelé *bilan matière*. Nous avons procédé à une analyse détaillée sur un projet, cela nous a permis de mettre en place une méthodologie par décomposition et regroupement par fraction applicable à d'autres rénovations. Les résultats obtenus par ce premier *bilan matière* confirment la part conséquente d'inertes[34] dans la construction aussi bien avant (pour l'unité de poids et de volume) qu'après la rénovation (quand l'unité de poids est considérée). Les inertes constituent également la proportion la plus importante des flux OUT, suivis par les autres matières rencontrées dans l'existant, principalement le bois (structure et parquet) et les liants minéraux et dérivés (finitions intérieures murs et plafonds). Un type de matière, spécialement peu représenté en poids, a pourtant renversé la tendance de la ventilation des matériaux dans le gisement après rénovation, il s'agit des isolants. En effet, les résultats du stock projeté obtenus avec l'unité de volume sont interpellants, car environ le tiers du volume total des matières contenues dans le bâtiment concerne les isolants, un peu plus de la moitié est reprise par les inertes, ce qui reste la part la plus importante. Alors que les inertes représentent la part majoritaire des flux sortants de l'opération, les ma-

34 - Dans la partie 2 de cette recherche, nous avons en effet spécifié que les déchets d'inertes représentaient plus de 90% des déchets de C&D (en poids). Ces déchets provenant de l'existant principalement à Bruxelles, il n'est donc pas étonnant que le gisement présent dans la construction soit principalement des matériaux inertes.

tériaux isolants prédominent dans les flux entrants avec plus de 80 % en volume. Même si leur représentativité en poids est réduite, les matériaux isolants représentent une part non négligeable du nouveau gisement de matières obtenu après rénovation. Caractérisé par une majorité d'isolants synthétiques (60%), cette catégorie de matériau constituera, avec les liants minéraux (finitions), les bois (panneaux), les matières plastiques (étanchéités air/eau) et bien sûr les inertes, les déchets (ou potentielles ressources) auxquels nous devrons faire face demain.

Ensuite, nous avons voulu montrer que l'analyse quantitative des processus de rénovation de bâtiments pouvait également conduire à l'élaboration d'un possible outil de planification de la gestion des ressources et déchets à l'échelle régionale. En effet, la quantification et la surface nette construite nous permettent d'élaborer des ratios par m^2 qui, selon la représentativité des bâtiments à l'échelle régionale, le type de rénovation énergétique et le taux de renouvellement envisagés, peuvent fournir des estimations de flux produits par la rénovation du parc immobilier à l'échelle régionale. Ces ratios peuvent donc constituer un outil précieux dans l'optique du développement d'une planification et d'une politique de rénovation. L'approche extrapolative et prospective de la production de flux proposée rejoint en outre un système plus large appelé aussi métabolisme urbain. Cependant, le nombre d'analyses devrait être suffisamment important pour pouvoir prétendre à l'utilisation d'un tel outil. Ce n'est pas encore le cas actuellement puisqu'un projet a fait l'objet de cette analyse approfondie. Dès lors, ce que nous avons proposé est une sorte d'ébauche de ce que pourrait représenter un tel outil. À l'avenir, il nous apparaît essentiel de continuer à récolter et analyser les données sur les gisements et flux matériels de la RBC afin d'améliorer la connaissance en la matière et prétendre à une meilleure gestion et valorisation des matières disponibles localement.

Rappelons toutefois que la méthode ici proposée pour la réalisation du *bilan matière* ne reprend pas l'ensemble des éléments constitutifs du bâtiment. Effectivement, les installations techniques et équipements n'ont pas été considérés dans la comptabilisation, principalement pour cause d'insuffisance de données, de complexité de composition et de difficulté de quantification précise. Ensuite, les quantités de volume communiquées correspondent à des données « brutes » ne considérant pas le degré de foisonnement de chaque matière (inhérent à toute démolition). C'est donc comme si les matières en présence étaient démontées une à une et étaient superposées les unes sur les autres sans vides interstitiels.

Enfin, nous voulons également souligner que l'approche proposée dans cette troisième partie est essentiellement quantitative et n'intègre pas la dimension d'une possible valorisation des stocks comme ressources. La question du potentiel valorisable, appelé *valorisabilité*, est présentée et abordée dans la quatrième partie de cette recherche.

PARTIE 4:

POTENTIEL MATIÈRE

Déchets ou matières valorisables?

4.0. INTRODUCTION

La quatrième partie de ce travail complète le chapitre précédent et propose de faire le lien avec les deux premiers chapitres traités dans cet ouvrage: par l'intégration du concept de « bouclage » ou de déchet comme ressource et selon les spécificités du secteur (matériaux et filières représentatifs). Par **bouclage**, nous entendons toute matière réintégrée dans un cycle comme matériau en tant que tel (réemploi) ou comme matière première secondaire (recyclage ou up-cycling) et ce, sans altération de sa valeur et de ses propriétés, voire visant une réutilisation à des fins qualifiées supérieures à son utilisation initiale. La question est alors de savoir le nombre de cycles qu'un matériau est capable d'absorber. Nous souhaitons compléter le terme de « **bouclage** » par la notion de **valorisation maximale** de la matière. Par **valorisation maximale** ou degré de valorisation, nous entendons identifier les différentes possibilités de valorisation de la matière en fin de vie (ou en fin de cycle) suivant la hiérarchie d'action prônée par la Directive-cadre 2008/98/CE. Les préceptes de bouclage des flux énoncés par les différents courants analysés en partie 1 semblent parfois loin de la réalité du secteur de la construction alors que la notion de degré de valorisation semble plus adaptée au contexte actuel. C'est pourquoi nous utiliserons préférentiellement ce terme bien qu'il rejoigne les objectifs de bouclage sur ses premiers échelons de valorisation (réemploi, recyclage versus up-cycling).

Ensuite, nous soutenons qu'une meilleure connaissance du gisement matériel contenu dans les bâtiments et le parc immobilier, par l'évaluation qualitative et quantitative des flux et des stocks, constitue la première étape dans une optique de « bouclage » et de valorisation des matières en fin de vie. Face au manque de données rencontrées, la troisième partie propose la mise en place d'une méthode pour évaluer le bilan métabolique des opérations de rénovation énergétique. Mais cette analyse ne nous informe pas sur le caractère valorisable des stocks matériels. Pour atteindre un objectif de valorisation maximale, nous devons donc connaître le potentiel de valorisation que constituent les éléments construits. La présente partie propose de traiter cette question en considérant l'objet d'étude initial et les projets analysés en partie 3. Nous parlerons de ***valorisabilité*** pour caractériser le potentiel de valorisation. Différents degrés de valorisation sont spécifiés et évalués sur base d'un ensemble de paramètres pouvant les influencer. Les paramètres retenus pour l'évaluation sont principalement liés à la nature des matériaux composant la paroi et à leur mode d'assemblage. Notons que cette approche reste relativement « théorique ». En effet, la valorisation effective des matériaux en fin de vie (démontés ou démolis) dépend de nombreux autres facteurs pouvant présenter une variabilité plus ou moins importante selon les cas. Ces facteurs peuvent être d'ordre économique, logistique, technique, écologique ou encore socioculturel. Ils peuvent représenter des freins ou des opportunités à la valorisation. Nous aborderons ce sujet dans le dernier chapitre de cette quatrième partie.

Parallèlement, et de manière complémentaire à l'évaluation de la *valorisabilité* des parois, un **bilan environnemental** de ces dernières est également réalisé. L'objectif de cette démarche est de pouvoir compléter l'analyse qualitative que représente le potentiel de valorisation par une analyse d'ordre quantitatif. Les résultats peuvent s'avérer corrélatifs ou contradictoires. L'avantage est également de pouvoir nuancer les résultats obtenus. Cette évaluation environnementale ne prétend pas être exhaustive puisque l'objectif initial est l'étude du potentiel de matière et que nous avons limité l'écobilan à trois indicateurs (les plus « appréhendables » pour les néophytes).

Nous concentrerons les analyses qualitative (*valorisabilité*) et quantitative (bilan environnemental) à des parois types de l'enveloppe, ces dernières étant élaborées sur base des tendances observées dans l'ensemble des projets BATEX traités (voir partie 3). En effet, l'enveloppe constitue l'élément principal d'action lors de toute rénovation visant l'amélioration des performances énergétiques du bâtiment.

Concernant l'évaluation qualitative, elle se développe en deux étapes distinctes sur la ligne du temps du cycle de vie du bâtiment et considère deux unités en poids et en volume (comme l'approche développée en partie 3). La première étape étudie le potentiel d'aujourd'hui, disponible lors de l'opération de rénovation (analyse de parois types existantes). La deuxième évalue le potentiel de demain, soit le nouveau stock de matières disponible après rénovation (analyse de parois types projetées). Ces deux étapes seront ensuite comparées dans le but de pouvoir identifier l'impact éventuel de l'intervention sur le potentiel de valorisation de la matière. La question sous-tendue est de savoir si nos interventions pour l'amélioration des performances thermiques des bâtiments ne réduisent pas les possibilités de récupération et de valorisation des matières en présence. Auquel cas, si nous partons de l'hypothèse que nos édifices construits constituent un gisement de matières en attente de réutilisation ultérieure, une autre question apparaît: faut-il poursuivre la politique de rénovation énergétique actuelle basée uniquement sur des critères de performances énergétiques au risque de réduire ou d'annihiler toute possibilité de valorisation de notre gisement matériel ? Auquel cas, quel équilibre faudrait-il viser entre ces deux objectifs: énergie et matière ? Cette question ne représentait pas l'objectif initial de cette recherche, c'est pourquoi nous n'y répondrons pas spécifiquement. Cependant, au regard des enjeux environnementaux actuels et plus particulièrement celui de l'épuisement des ressources, il nous semble nécessaire d'intégrer une approche prospective considérant la valorisation des ressources et atouts locaux à disposition.

Cette réflexion quant à la politique énergétique encouragée par nos régions rejoint également de nombreuses études relatives à l'énergie grise nécessaire à la réalisation de bâtiments énergétiquement performants. En effet, sur l'ensemble de la durée de vie d'un bâtiment et la consommation énergétique due à son utilisation, plusieurs études démontrent qu'au-delà d'une certaine performance (visant au minimum le

passif), le rapport entre énergie de chauffage et énergie grise à tendance à s'inverser[1]. C'est-à-dire que l'impact de l'énergie grise liée à la fabrication des matériaux devient égal voir plus important que l'énergie nécessaire à chauffer le bâtiment. En effet, puisque la construction de type passif nécessite une quantité de matériaux plus importante, elle exerce donc une pression plus conséquente sur l'utilisation des ressources naturelles. Nous ne remettons pas en cause la nécessité de rénover le parc immobilier existant dans le but d'en réduire les consommations énergétiques, il s'agit bien sûr d'une action prioritaire à poursuivre (avec toutes les particularités que constitue le bâti existant et son patrimoine). Cependant, nous soutenons que cette action doit s'accompagner d'une réflexion plus globale, intégrant une vision prospective d'anticipation des flux de matière, et ainsi éviter de se retrouver dans une situation « compliquée » lorsque nous serons amenés à gérer tous ces flux si ces derniers constituent des fractions difficiles à traiter.

Considérer le bâtiment comme une potentielle réserve matérielle peut sembler réducteur et peut également complexifier la conception lors de l'intervention (augmentation de la charge de travail). Or, cette considération peut également être envisagée comme une opportunité de développer des concepts et principes constructifs innovants. Mais surtout, elle permet d'agir de façon significative sur le futur du parc bâti puisqu'une économie de ressources par la valorisation potentielle de la matière en présence est induite par la démarche: nous construisons pour le présent, pour répondre à nos besoins actuels (et ceux du maître d'ouvrage), mais nous construisons aussi pour l'avenir par l'intégration de la notion de fin de vie ou fin de cycle de la matière et sa valorisation comme ressource potentielle répondant ainsi aux enjeux environnementaux préalablement exposés.

4.1. OBJECTIFS ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'objectif principal poursuivi par cette quatrième partie est donc de pouvoir identifier le potentiel que représentent les différentes composantes du bâtiment en terme de matières valorisables et récupérables, et ce, avant et après rénovation. Cette double analyse (avant-après) permet également d'identifier l'impact éventuel de nos interventions sur la *valorisabilité* des éléments construits:

- l'édifice avant rénovation nous offre un potentiel actuel (déchets générés lors de la rénovation), mais également un potentiel futur par les matières conservées éventuellement démolies ou démontées lors d'interventions ultérieures
- ce même édifice après rénovation nous offre un nouveau potentiel de ressources

1 - Etude publiée dans les proceedings PLEA 2011, volume 2 page 217: MASSART C., TRACHTE S., *Reducing the environmental impact of new dwellings: Analyse of the balance between heating energy savings and environmental assessment of the building materials.* (ISBN : 978-2-87463-276-1)

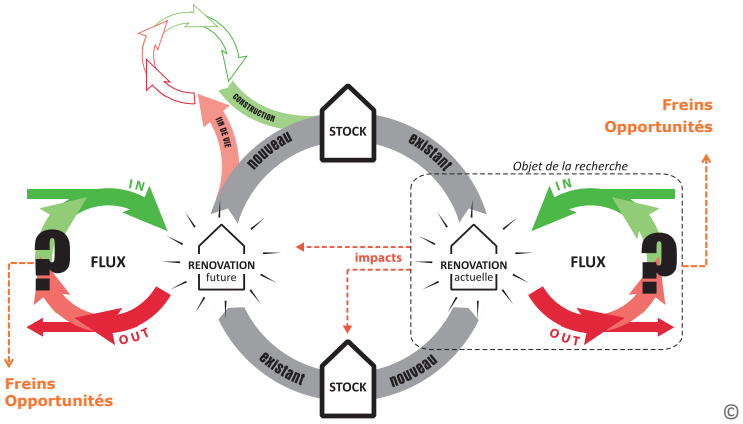
(potentiel futur, qui sera différent du précédent) par les possibles « déchets/ ressources » occasionnés lors d'interventions ultérieures et constitués des nouveaux matériaux mis en oeuvre dans la rénovation actuelle.

Le potentiel de valorisation identifié est également comparé et complété par une évaluation environnementale. Cette évaluation environnementale est réalisée pour les mêmes parois types projetées et existantes. L'analyse environnementale des parois existantes n'est pas effectuée dans un but de comparaison, mais dans un but d'information. Nous souhaitons en effet représenter l'impact environnemental initialement consenti à la construction des matériaux en présence.

Ensuite, pour compléter l'analyse de *valorisabilité* des parois types, nous proposons d'identifier les freins et opportunités à une valorisation plus optimale des fractions caractéristiques de la rénovation durable étudiée dans la troisième partie. Cette approche nous permet de resituer l'évaluation du potentiel matière, à caractère plutôt théorique, dans le contexte actuel: avec la réalité du marché et des filières de valorisation et les difficultés pouvant être rencontrées dans un objectif de valorisation optimale.

Pour conclure, l'enjeu de cette partie de la recherche est également de proposer une vision dynamique de la problématique ressources/déchets par la prise en compte de l'élément temporel (potentiel d'aujourd'hui et de demain) et ce, en gardant à l'esprit la notion de gisement de matière que peut constituer le bâti. La figure ci-dessous, reprise de celle proposée en partie 3, illustre la démarche proposée dans cette quatrième et dernière partie. Le point d'interrogation symbolise la question du potentiel de valorisation que constituent les éléments construits. Les « freins et opportunités » y étant liés replacent la question de la *valorisabilité* et des possibilités d'optimisation de la valorisation réelle dans le contexte actuel.

Figure 4.1: Schéma illustrant l'approche dynamique proposée



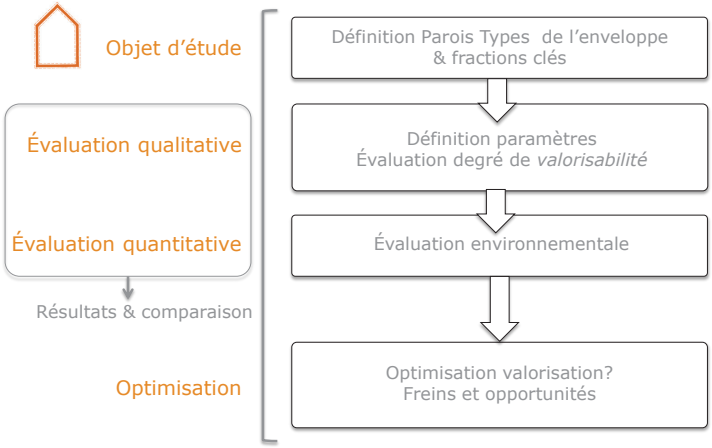
Développement

Pour répondre aux objectifs de cette partie de la recherche, nous proposons d'opérer comme suit:

1. définition de l'objet d'analyse: sur base des projets étudiés dans la troisième partie, nous proposons d'identifier, d'une part des fractions clés caractérisant l'existant et le projeté, d'autre part différentes parois types rencontrées avant et après rénovation (pour chaque paroi type existante, trois solutions projetées sont proposées).
2. évaluation de la valorisabilité des parois types définies. Pour proposer une telle évaluation, certaines étapes préalables sont nécessaires. Nous opérerons selon l'ordre suivant:
   -> détermination des paramètres influençant le degré de valorisation des éléments construits sur base de la hiérarchie d'action de la directive-cadre
   -> détermination de la méthode d'évaluation: comptabilisation, critères exclusifs et exceptions.
   -> évaluation
   -> interprétation des résultats et valorisation effective
3. évaluation du bilan environnemental des parois types définies et interprétation des résultats.
4. comparaison et interprétation des deux types d'évaluations réalisées
5. optimisation de la valorisation actuelle: freins et opportunités rencontrés

La figure ci-dessous illustre la démarche proposée:

Figure 4.2: Schéma représentant le développement de l'approche



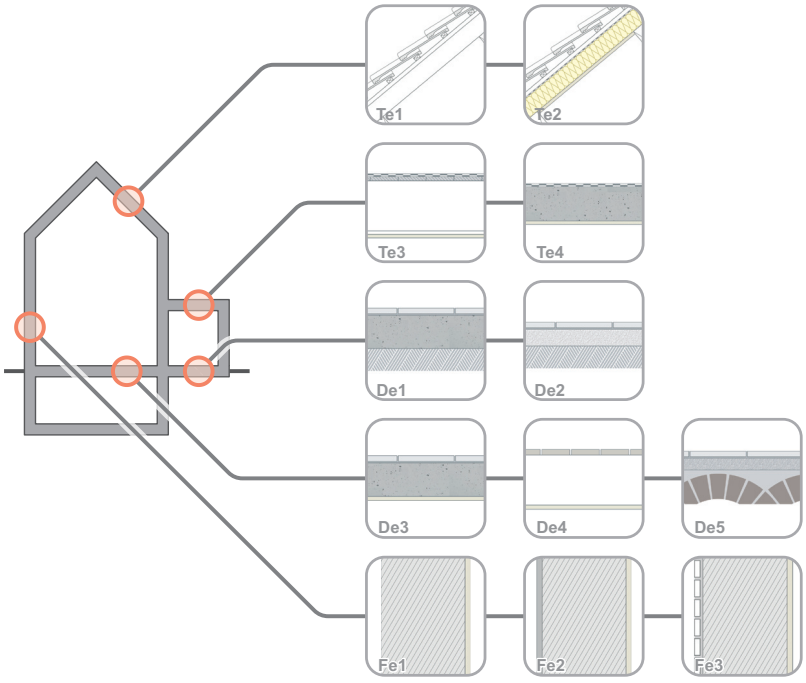
4.2. PAROIS TYPES ET FRACTIONS CLÉS

4.2.1. Parois types et fractions clés de l'existant

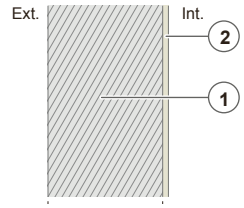
Parois types avant rénovation

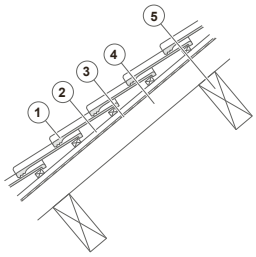
Les dix projets étudiés dans la partie 3 en termes de principes d'intervention ont été repris et analysés selon la composition des parois constituant l'enveloppe du bâtiment, et dans le but d'en dégager les principes constructifs et les matériaux en présence. La figure ci-dessous reprend de manière synthétique les différentes compositions de parois types existantes, c'est-à-dire avant opération de rénovation. Les matériaux contenus dans ces parois constituent le potentiel actuel. En effet, ce sont ces matériaux principalement qui joueront le rôle de « déchets » à valoriser lors de toute intervention actuelle.

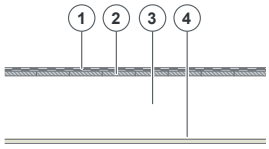
Figure 4.3: Synthèse des parois types existantes

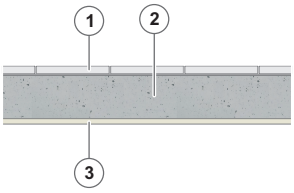


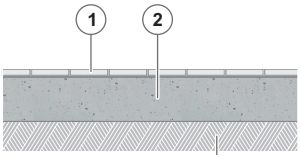
Pour éviter un nombre trop important de parois types projetées à analyser (puisque trois parois types projetées sont proposées par paroi type existante), nous nous sommes concentrés sur une paroi type existante par composantes. Les cinq parois types existantes sont reprises ci-après:

Façade_F.exist	Composition:
	1. Plafonnage 2. Maçonnerie en brique pleine

Toiture à versant_Tv.exist	Composition:
	1. Couverture en tuiles de terre cuite 2. Lattes et contre-lattes bois 3. Sous-toiture en film PE 4. Chevrons bois 5. Pannes bois

Toiture plate_Tp.exist	Composition:
	1. Etanchéité bitumineuse 2. Support en bois plein (voligeage de pente) 3. Gîtes en bois 4. Plaques de fibro-plâtre

Dalle de cave_Dc.exist	Composition:
	1. Carrelage grès-cérame 2. Dalle en béton armé 3. Plaques de fibro-plâtre

Dalle sur terre-plein_Dtp.exist	Composition:
	1. Carrelage grès-cérame 2. Dalle en béton armé

Source: Dessins de composition de paroi réalisés par José Flémal et Sylvie Rouche (UCL/SST/LOCI)

Fractions clés avant rénovation

Les fractions clés identifiées dans les parois types existantes de l'objet d'étude reprennent principalement :

- Des éléments en bois massif pour la structure et le support des tuiles en toiture (Ls et Le), la structure et la finition de certains planchers sur cave (Ls et Le), le cadre des châssis.
- Des éléments en terre cuite pour la structure des murs de l'enveloppe (Ls : briques pleines), la couverture de toiture (Le) et certains planchers sur cave (Ls : voussettes accompagnées de petits profilés métalliques) ou dallages posés à même le sol sur sable stabilisé (Lsup pour dalle de cave principalement).
- Des éléments à base de béton pour certains planchers sur cave (Ls) particulièrement au niveau des espaces de circulation[2] (+ chape à base de ciment) et dans un cas étudié, des blocs de béton de cendrée.
- Des matières à base de chaux, sable avec « système d'armatures » naturel (poil, textile, lattage bois) formant les finitions intérieures des murs (Li) et des plafonds (caves).
- Des éléments de finition de plancher sur sol ou sur cave(Lsup) comme le granito[3] ou les carrelages[4] sur chape ou à même le sol sur lit de sable.
- Des membranes bitumineuses pour assurer l'étanchéité des toitures plates.
- Quelques éléments métalliques ponctuels (petits profilés métalliques dans le cas des voussettes).
- Du simple vitrage pour les châssis.

Si nous regroupons ces éléments par fractions ou famille de matériaux, nous retrouvons :

2 - Dans un cas étudié, ils se présentent sous la forme de blocs de béton de cendrée utilisé dans le layer structurel (Ls) des murs.

3 - Le granito se constitue à l'origine de rebuts provenant de l'extraction du marbre pour la fabrication de mosaïque (origine: Italie). Sa composition est similaire à celle du béton traditionnel: mélange de granulés de pierre naturelle, grès, marbre, (verre) avec du ciment, du sable et de l'eau. Le granito est réalisé sur place par coulage sur chape armée sur une épaisseur de 10 à 15mm puis un polissage est réalisé. Ce type de revêment de sol présente un grande facilité d'entretien. Le granito a connu un fort engouement après la seconde guerre mondiale, peu usité dans les années qui suivirent, il est à l'heure actuelle un revêtement de nouveau 'à la mode'

4 - Il existe différents types de carrelages: en pierre, en ciment, en céramique et sous forme de mosaïques. Les carreaux de ciment sont essentiellement mis en oeuvre début du XXème siècle et ce jusqu'à la seconde guerre mondiale, période à partir de laquelle d'autres alternatives moins coûteuses ont été privilégiées. Ils constituent donc les principaux revêtements rencontrés dans l'objet d'étude de cette recherche. Les carrelages en céramique reprennent les carrelages en terre cuite (à base d'argile cuite), les mosaïques et faïences, ou les carrelages en grès (grès cérame à base d'un mélange d'argiles et composés minéraux et grès étiré). Les carrelages en grès cérame, moins poreux et chauffés à très haute température, présentent une résistance plus importante que les autres types de carrelages céramiques.

Tableau 4.1 : Fractions représentatives des parois types avant rénovation

FRACTIONS	Sous-fractions	Eléments/matériaux
INERTES	Terre-cuite	Briques
		Tuiles
		Dalles
	Béton	Dalle
		Blocs (béton de cendrée)
	Revêtement de sol	Granito
		Carreaux de ciment
		Carrelage grès cérame
	Pierre	Seuils de fenêtre
	Produits bitumés	Membrane d'étanchéité
	Verre	Simple vitrage
BOIS	Bois plein (traité?)	Gîtes, pannes, chevrons, lattages, planchers, parquet, châssis de fenêtre
METAUX	Ferreux	Poutrelles

Quelles sont les filières de traitement actuellement appliquées à ces différentes fractions représentatives ? En se basant sur l'étude MMG réalisée par l'OVAM [OVAM, 2011_A], voici quelles seraient les destinations actuelles de ces flux en cas de transformation ou démolition de l'enveloppe du bâtiment.

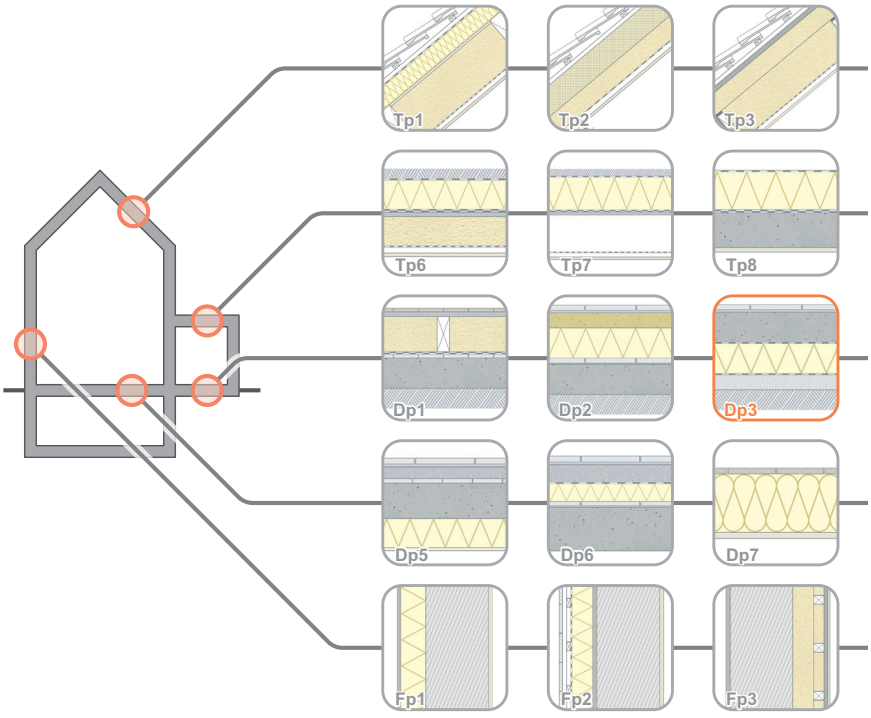
Tableau 4.2 : Traitement actuel des fractions en fin de vie suivant celles identifiées avant rénovation [OVAM, 2011A]

FRACTIONS		Décharge (%)	Incinération (%)	Recyclage (%)
INERTES	Terre cuite, béton, ...	5	0	95
	Produits bitumés	100	0	0
	Verre	30	0	70
BOIS	Non-traité	5	20	75
	Traité	5	95	0
METAUX	Ferreux (acier)	5	0	95
AUTRES	Mélanges plafonnage à base de chaux, joints,...	100	0	0

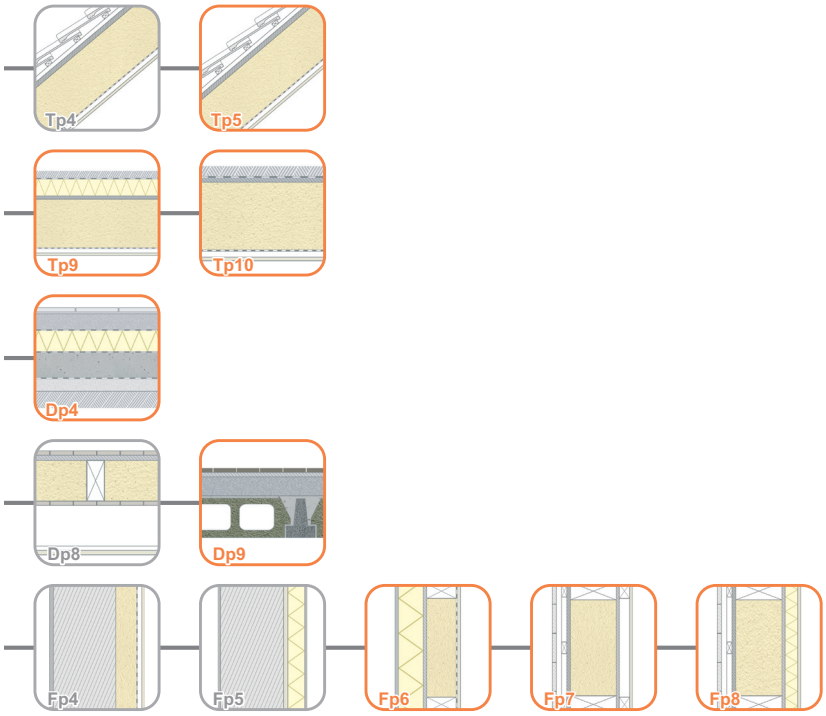
4.2.2. Parois types et fractions clés de la situation projetée

Parois types après rénovation

Figure 4.4: Synthèse des parois types projetées



De même que pour les parois types existantes, la composition des parois constituant l'enveloppe du bâtiment après rénovation (pour les dix projets étudiés) est analysée pour en dégager les principes constructifs et les matériaux en présence. La figure ci-dessus reprend de manière synthétique les différentes compositions de paroi type projetée, c'est-à-dire après opération de rénovation. Les parois types encadrées de rouge représentent les parois neuves construites, les autres sont des parois existantes entièrement ou partiellement conservées et qui ont été améliorées.



Comme dans le cas des parois types existantes, nous avons limité le nombre de parois types projetées pour analyse. Ainsi pour chacune des parois types existantes retenues ci-avant, trois possibilités de rénovation sont proposées pour un même coefficient de transmission thermique:

- la paroi existante est conservée et améliorée
- la paroi existante est démolie et reconstruite « à l'identique » ou suivant le même mode constructif
- la paroi existante est démolie et reconstruite différemment

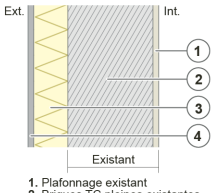
Notons que le deuxième cas de figure (démolition/reconstruction à l'identique) est rarement rencontré dans les projets étudiés. Nous avons cependant retenu cette solution, car elle représente une étude de cas intéressante dans la comparaison des résultats. De plus, elle est parfois plus représentative en termes de pratiques constructives, car plus fréquemment usitée dans le secteur de la construction par rapport aux solutions développées dans le cas des projets BATEX. Nous avons éga-

lement introduit une variante supplémentaire dans le cas de la façade: *F.exist++*. Il s'agit d'une solution proposant la conservation et l'amélioration de la paroi existante, à l'instar de *F.exist+*, mais en utilisant d'autres matériaux et modes d'intervention. Pour proposer cette solution alternative, nous nous sommes inspirés d'un projet ayant effectué des recherches détaillées sur les différentes possibilités d'amélioration thermique de bâtiments existants [MASSART,2014].

La synthèse des parois types projetées à analyser est reprise ci-après.

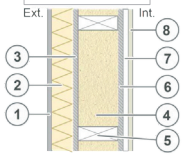
Façade **U: 0,15 W/m².K**

F.exist+



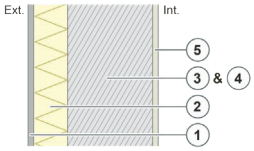
1. Plafonnage existant
2. Briques TC pleines existantes
3. Isolant (EPS)
4. Enduit synthétique

F.neuf



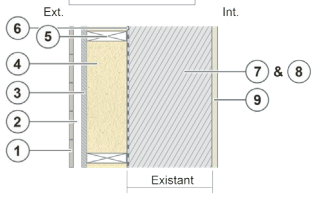
8. Plaques en carton-plâtre
7. Lattage bois
6. Panneau OSB
4. Isolant cellulose
5. Structure bois
3. Panneau OSB
2. Isolant EPS
1. Enduit synthétique

F.neuf//exist+



5. Plafonnage
3 & 4. Blocs en TC plein (+ mortier et ciment)
2. Isolant (EPS)
1. Enduit synthétique

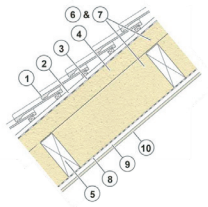
F.exist++



1. Bardage bois
2. Lattage bois
3. Pare-pluie (fibres et bitume)
4. Isolant cellulose
5. Structure bois
6. Étanchéité PE
7 & 8. Briques TC existantes + mortier chaux
9. Enduit à l'argile

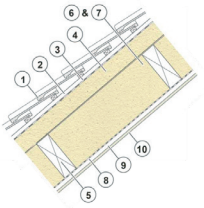
Toiture à versant **U: 0,16 W/m².K**

Tv.exist+



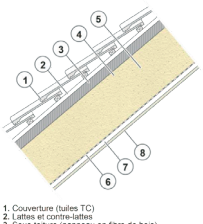
1. Couverture (tuiles TC) existante
2. Lattes et contre-lattes existantes
3. Sous-toiture (film souple) existant
4. Chevrons existants
5. Pannes existantes
6 et 7. Isolant cellulose
8. Frein vapeur Intello
9. Lattage bois
10. Plaques en carton-plâtre

Tv.neuf//exist+



1. Couverture (tuiles TC)
2. Lattes et contre-lattes
3. Sous-toiture (film souple)
4. Chevrons + isolant cellulose
5. Pannes
6 & 7. Isolant cellulose
8. Frein vapeur Intello
9. Lattage bois
10. Plaques en carton-plâtre

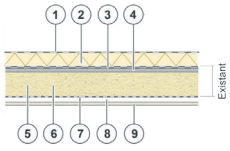
Tv.neuf



1. Couverture (tuiles TC)
2. Lattes et contre-lattes
3. Sous-toiture (panneau en fibre de bois)
4. Structure (PJI)
5. Isolant cellulose
6. Frein-vapeur intello
7. Lattage bois
8. Plaques en carton-plâtre

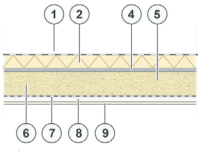
Toiture plate — U: 0,17 W/m².K

Tp.exist+



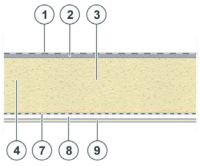
1. Étanchéité EPDM
2. Isolant (résol)
3. Étanchéité existante
4. Support bois existant
5. Gites existantes
6. Isolant cellulose
7. Frein-vapeur Intello
8. Lattage bois
9. Plaques en carton-plâtre

Tp.neuf//exist+



1. Étanchéité EPDM
2. Isolant (résol)
4. Support panneau OSB
5. Gites
6. Isolant cellulose
7. Frein-vapeur Intello
8. Lattage bois
9. Plaques en carton-plâtre

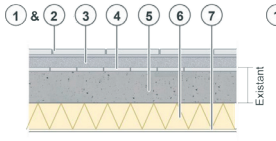
Tp.neuf



1. Étanchéité (EPDM)
2. Support panneau multiplex
3. Structure FJI
4. Isolant cellulose
7. Frein-vapeur intello
8. Lattage bois
9. Plaques en carton-plâtre

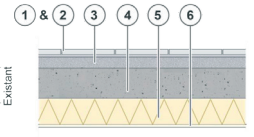
Dalle de cave — U: 0,28 W/m².K

Dc.exist+



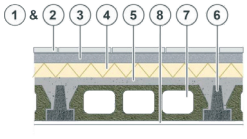
1 & 2. Carrelage grès cérame + mortier colle
3. Chape ciment
4. Finition existante (carrelage sur chape)
5. Dalle béton armé existante
6. Isolant (PUR)
7. Plaque carton-plâtre

Dc.neuf//exist+



1 & 2. Carrelage grès cérame + mortier colle
3. Chape ciment
4. Dalle béton armé
5. Isolant (PUR)
6. Plaque carton-plâtre

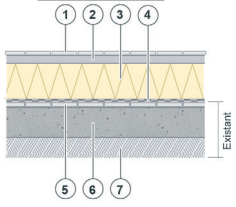
Dc.neuf



1 & 2. Carrelage grès cerame + mortier colle
3. Chape ciment
4. Isolant PUR
5. Chape de compression
6. Poutrain béton armé
7. Claveaux (XPS)
8. Plaque de carton plâtre

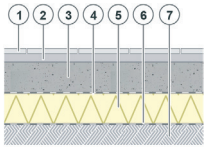
Dalle sur terre-plein — U: 0,28 W/m².K

Dtp.exist+

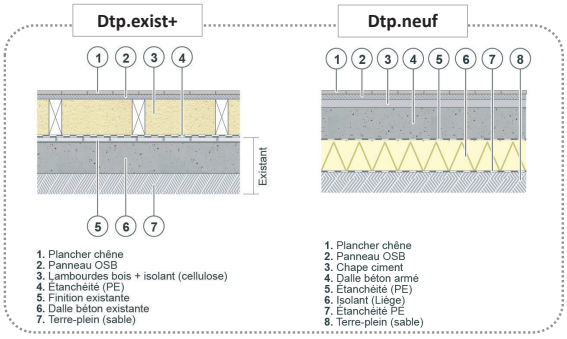


1. Carrelage grès cerame
2. Chape ciment
3. Isolant PUR
4. Étanchéité (PE)
5. Carrelage existant
6. Dalle béton armé existante
7. Terre-plein (sable)

Dtp.neuf



1. Finition (carrelage grès cérame)
2. Chape ciment
3. Dalle béton armé
4. Étanchéité (PE)
5. Isolant (PUR)
6. Étanchéité (PE)
7. Terre-plein (sable)



Source: Dessins de composition de paroi réalisés par José Flémal et Sylvie Rouche (UCL/SST/LOCI)

Fractions clés après rénovation

Les fractions identifiées dans les parois types projetées reprennent principalement les éléments déjà déterminés dans les parois types existantes (voir ci-avant) auxquels s'ajoutent de nouvelles matières mises en œuvre reprises ci-dessous:

- des éléments en **bois massif** : structure (pannes/chevrons) et support (latte & contre-latte) des tuiles en toiture existants et neufs (Ls et Le), structure et finition de certains planchers sur cave existants et neufs (Ls et Le), cadre des châssis (neufs), nouvelle structure en façade (Ls), contrecloison (Le, Li), parement extérieur (bardage : Le)
- les **dérivés du bois** : poutres FJI ou TJI composées d'une partie en lamellé-collé et d'une âme en OSB, panneaux à base de bois reconstitué multiplex et OSB utilisés comme support ou contreventement (Le, Li), panneaux de fibres de bois bitumés comme sous-toiture et pare-pluie (Le)
- des éléments en **terre cuite** : structure des murs de l'enveloppe (Ls : briques pleines), couverture de toiture (Le) et certains planchers sur cave (Ls : voussettes accompagnées de petits profilés métalliques) ou dallages posés à même le sol sur sable stabilisé (Lsup pour dalle de cave principalement), certains parements de façade.
- des éléments à base de **béton** : certains planchers sur cave (Ls) particulièrement au niveau des espaces de circulation (+ chape à base de ciment), blocs de béton de cendrée (1 cas étudié), blocs de béton creux, nouvelles dalles de béton armé et poutrains-claveaux
- des blocs en béton cellulaire : nouveaux murs de façade (Ls).
- des éléments de finition de dalle sur terre-plein ou sur cave(Lsup) comme le **granito** ou les **carrelages** sur chape ou à même le sol sur lit de sable (cas des dalles existantes).
- des **membranes bitumineuses** pour assurer l'étanchéité des toitures plates
- des **éléments métalliques** (petits profilés métalliques dans le cas des voussettes) et nouvelles poutrelles et plats métalliques en structure et renforcements struc-

turels (Ls), contrecloisons en métal-stud en aluminium galvanisé (Li)
- du double voir du triple vitrage pour les châssis
- des **liants minéraux/mortiers et dérivés** :
  - blocs silicocalcaires (ls), plaques de plâtre cartonné et fibroplâtre, plafonnage à base de plâtre (Li)
  - plaques de fibrociment (1 seul cas) en revêtement de façade (Le)
  - matières à base de chaux, sable avec « système d'armature » naturel (poil, textile, lattage bois) formant les finitions intérieures existantes des murs (Li) et des plafonds (caves).
- des **matériaux isolants** souples, rigides ou en vrac : cellulose, fibres ou laines de bois, laine de verre, EPS, XPS, résol, PUR, PIR, liège (Le, Ls ou Li)
- des **matières plastiques et dérivés** : membranes d'étanchéité (PE, visqueen, EPDM), membranes frein-vapeur[5] ou pare-vapeur (Le ou Li)

Si nous regroupons ces éléments par fractions ou famille de matériaux, nous retrouvons :

Tableau 4.3 : Fractions représentatives des parois types après rénovation

FRACTIONS	Sous-fractions	Eléments/matériaux
INERTES	Terre-cuite	Briques pleines
		Tuiles
		Dalles
		(Bardeaux/parement extérieur)
	Béton	Dalle armée
		Blocs (béton de cendrée)
		Blocs béton creux
		Poutrains
		(Blocs béton cellulaire)
	Revêtement de sol	Granito
		Carreaux de ciment
		Carrelage grès cérame
	Pierre	Seuils de fenêtre
	Produits bitumés	Membrane d'étanchéité
	Verre	Verre lotté (verre plat): double ou triple vitrage
BOIS & dérivés	Bois plein (traité ou non)	Gîtes, pannes, chevrons, lattages, planchers, parquet, châssis de fenêtre, bardage

5 - Par exemple, le frein-vapeur intello (étanchéité à l'air hygrovariable) se compose de deux couches: le non-tissé est un polypropylène et la membrane spéciale est un copolymère de polyéthylène. Les ingrédients de la membrane spéciale sont à base d'un polycarbonate, mais qui n'est pas fabriqué en synthèse avec des composés organiques volatils comme par exemple le Bisphenol A.

FRACTIONS	Sous-fractions	Eléments/matériaux
BOIS & dérivés	Bois plein lamellé-collé	Partie de poutre (FJI, TJI)
	Panneaux	OSB, multiplex
		Panneaux en fdb bitumés (sous-toiture ou pare-pluie)
METAUX	Ferreux	Poutrelles, plats et renforts en acie
	Non-ferreux	Métal stud (Alu galvanisé)
LIANTS MINERAUX & dérivés	Enduits	Plafonnage à base de plâtre
	Plaques	Carton-plâtre ou fibro-plâtre
	Blocs	Blocs silico-calcaire
	Mortiers	Mortie de ciment ou mortier colle (synthétique)
MATIERES PLASTIQUES & dérivés	Thermoplastique	Etanchéité PE, pare-vapeur PP armé (non-tissé), frein-vapeur (copolymère PE armé par non-tissé en PP)
	Elastomères	Etanchéité EPDM
MATERIAUX ISOLANTS	Naturels organiques	Fibre et laine de bois, cellulose, liège
	Naturels inorganiques/ minéraux	
	Synthétiques organiques	résol, EPS, XPS, PUR, PIR
	Synthétiques inorganiques	Laine de verre/roche
PAPIERS/CARTONS	Papiers cartonnés	Frein-vapeur: 2 couches papier cartonné (cellulose de recyclage), armé par film PE et non-tissé en soie de verre
AUTRES	Chaux+ sable	Plafonnage, joints

Nous pouvons remarquer que le nombre de fractions différentes par rapport à la situation avant rénovation a considérablement augmenté. De plus, les matières rencontrées sont parfois de nature plus complexe et cette dernière ne dépend pas forcément du nom qui lui est attribué. Par exemple, le béton cellulaire ne peut être recyclé comme un béton même s'il en porte le nom. Certains matériaux de nature hétérogène ou composite sont difficiles à classer selon une famille bien précise puisqu'ils comportent dans certains cas des matières de natures variées souvent indissociables (ex :fibrociment, certaines membranes frein-vapeur...). Actuellement, les filières de traitement appliquées à ces différentes fractions sont réparties comme suit:

Tableau 4.4 : Traitement actuel des fractions en fin de vie suivant celles identifiées après rénovation [OVAM, 2011A]

FRACTIONS		Décharge (%)	Incinération (%)	Recyclage (%)
INERTES	Terre cuite, béton, ...	5	0	95
	Béton cellulaire	70	0	30
	Produits bitumés	100	0	0
	Verre	30	0	70
BOIS	Non-traité	5	20	75
	Traité	5	95	0
	Panneaux	5	75	20
METAUX	Ferreux (acier)	5	0	95
	Non-ferreux	5	0	95
LIANTS MINERAUX & dérivés	Enduits	100	0	0
	Plaques	95	0	5
	Blocs	95	0	5
	Mortiers	sont associés aux blocs et briques qu'ils assemblent		
PLASTIQUES & dérivés	Thermoplastiques	10	85	5
	Elastomères	100	0	0
ISOLANTS	Naturels organiques	0	100	0
	Synthétiques organiques	0	100	0
	Synthétiques inorganiques	100	0	0
PAPIERS/CARTONS	Membrane frein-vapeur*	0	100	0
AUTRES	Mélanges plafonnage à base de chaux, joints,...	100	0	0

** Ce type de membrane ne figurant pas dans l'étude de l'OVAM, cette donnée est une extrapolation basée sur la composition du produit le rendant non-recyclable*

4.2.3. Conclusions

Sur base des différentes parois types identifiées avant et après l'opération de rénovation, seules certaines (celles les plus couramment usitées) ont été retenues pour les évaluations qui seront réalisées dans la suite de cet ouvrage. Nous retiendrons donc qu'une paroi type existante est sélectionnée par composante de l'enveloppe, et que trois parois types « améliorées » sont proposées pour la solution existante sélectionnée.

Concernant les matières en présence antérieurement et postérieurement à l'intervention, nous observons un phénomène de multiplication et de complexification des fractions. Alors qu'initialement les matières existantes apparaissent « simples » et limitées en nombre, le constat après rénovation démontre une variété importante de matériaux neufs, parfois difficiles à classer dans une catégorie bien précise. En effet, jusqu'au début du 19e siècle, le choix et la nature des matériaux utilisés dans la construction étaient régis par des questions de disponibilités locales, de techniques de fabrication et de mise en oeuvre. À l'heure actuelle, les avancées technologiques et industrielles, l'augmentation des niveaux d'exigences et des réglementations ainsi que la globalisation du marché, nous ont amenés à une situation où les possibilités de choix de matériaux sont extrêmement larges et importantes [TRACHTE,2012]. Ce phénomène risque d'avoir plusieurs conséquences à terme. Il va plus que certainement complexifier le tri lors d'opération de rénovation ou de démolition ultérieure. Les quantités par fractions de type différent ne justifieront pas toujours leur séparation à la source. La pureté des fractions risque donc d'en être compromise. Ensuite, alors que la plupart des déchets de l'existant (principalement inertes, bois et métal) sont aujourd'hui pris en charge par des filières de valorisation bien installées et bien développées, les matériaux actuellement mis en oeuvre, et qui constituent aussi les « déchets » de demain, ne présentent pas dans la majorité des cas de solutions de valorisation adaptées aux déchets de chantier. Bien sûr, cela s'explique par le fait qu'il n'existe pas vraiment encore suffisamment de déchets de ce type à traiter[6] (puisqu'ils sont mis en oeuvre maintenant). De plus, cette situation peut évoluer avec les avancées technologiques qui seront réalisées d'ici là. Cependant, n'oublions pas que le développement de filières de traitement se justifie à partir d'une certaine masse critique de déchets à traiter. Si ces derniers se caractérisent par une diversité trop importante et donc des proportions plus faibles et que leur composition devient de plus en plus complexe, d'une part cette situation n'encouragera pas le tri en amont avec des conséquences sur la pureté des fractions et, d'autre part, la valorisation optimale de ces matières en fin de vie sera compromise ou plus compliquée à atteindre.

6 - Notons que pour beaucoup de ces matériaux, les chutes de production sont en général recyclées sur le site de fabrication. Nous parlons aussi dans ce cas de recyclage. Cependant, le recyclage de matières provenant de chantiers de démolition ou de rénovation est une tout autre chose car les déchets provenant de ces sites sont en général 'contaminés' ou ont subi un mélange avec d'autres matières dont il est difficile de supprimer les effets. Le degré d'impureté est donc beaucoup plus important que dans le cas de chutes de production. Or, les technologies de recyclage ne sont pas encore toutes adaptées à traiter des matières "souillées" par le chantier ou dont on ne reconnait plus l'origine.

4.3. *VALORISABILITÉ* DES ÉLÉMENTS CONSTRUITS: PROPOSITION D'UN SYSTÈME D'ÉVALUATION QUALITATIVE DES PAROIS

Les paramètres qui ont été développés dans cette partie visent un objectif d'évaluation du « potentiel matière » ou de la *valorisabilité* des composantes et parois formant le bâtiment. Mais comment mettre en avant ce potentiel et comment l'évaluer ? Nous connaissons à l'heure actuelle de nombreux systèmes d'évaluation, de certification ou de labellisation (Valideo, Breeam, Leed, etc) proposant d'apprécier la durabilité des bâtiments. Notons qu'il existe également un Référentiel Bâtiment Durable (Ref-B) pour la Belgique qui est en cours d'élaboration. Ce référentiel se base entre autres sur les différents outils d'évaluation précités: Valideo (B), Breeam (UK), mais aussi le Maatstaaf Duurzaam Wonen en Bouwen (RF) et le concours Bâtiments Exemplaires (RBC). Or, bien que ces systèmes de certification ou de labellisation proposent une démarche relativement globale par rapport au bâti, nous proposons dans ce travail une vision plus ciblée sur la détermination d'un potentiel de matière en présence et futur dans le bâtiment. L'évaluation proposée dans ce travail et les paramètres y étant développés pourraient à terme être considérés comme complémentaires, voire être intégrés au système de certification belge. Outre ces systèmes de certification, plusieurs recherches ont abordé la question de l'évaluation qualitative des éléments construits en termes de *démontabilité*, *récupérabilité*, *recyclabilité*... [DURMISEVIC, 2006; GORGOLEWSKI, 2008; NORDBY, 2009; PADUART, 2012; SASSI, 2008; VEFAGO, 2011] basées notamment sur les théories du *design for deconstruction*, *design for dismantling* ou *design for reuse* que nous avons brièvement abordés dans la première partie de ce travail. Nous nous sommes en partie appuyés sur ces travaux pour la définition de certains paramètres et leur impact sur la *valorisabilité* des parois.

4.3.1. Objectifs de valorisation

La hiérarchie d'action prônée par la directive 2008/98/CE reprend, outre la prévention en première instance, la préparation au réemploi suivi par le recyclage et l'incinération avec valorisation énergétique. L'ensemble de ces actions est considéré comme des valorisations de la matière. Enfin, l'élimination en décharge (ou CET) est envisagée lorsqu'aucune valorisation n'est possible. Chacune de ces actions représente des coûts financiers et environnementaux différents. Pour certaines opérations, surtout pour le réemploi, il est parfois difficile d'en évaluer les coûts.

Les degrés de valorisation ou la *valorisabilité*, telle qu'employée dans ce travail, se réfèrent donc en grande partie à la directive-cadre et à sa priorité d'action à appliquer dans le traitement des matières en fin de vie. Ainsi, nous proposons d'évaluer les parois suivant différents objectifs de valorisation classés selon leur ordre de priorité:

1. potentiel de Prévention (P)
2. potentiel de Réemploi (R+)

3. potentiel de Recyclage (R)
4. potentiel de Compostage (C)
5. potentiel d'Incinération (comprenant valorisation énergétique) (I)

Les trois premières étapes constituent les opérations les plus importantes à encourager. La valorisation par compostage (cycle biologique) ou par incinération (production d'énergie) est donc moins « intéressante » au niveau de la hiérarchie de traitement, bien qu'elles constituent un potentiel certain à exploiter avant toute mise en décharge. Lorsque nous parlons de valorisation maximale de la matière, notamment dans les possibilités d'optimisation de valorisation que nous traiterons à la fin de cette partie, nous entendons la priorisation des étapes de valorisation telle que spécifiée ci-dessus: si un matériau possède un potentiel de réemploi important qui n'est pas exploité, il présente des opportunités de valorisation maximale.

4.3.2. Paramètres d'influence et structuration

Selon la méthode suivie, nous avons ensuite identifié des paramètres pouvant influencer les différents objectifs de valorisation formulés. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur plusieurs travaux existants [DURMISEVIC, 2006; GORGOLEWSKI, 2008; NORDBY, 2009; PADUART, 2012; SASSI, 2008; VEFAGO, 2011] traitant de cette problématique de valorisation en fin de vie sous différentes approches et termes employés: *critères de réemploi*, *indice de recyclabilité* ou de *récupérabilité* (proposition de traduction pour le terme *salvageability*), *critères de démontabilité*, *réversibilité*, *adaptabilité*, etc. Ces recherches nous ont permis de développer une liste de paramètres relativement large, mais non exhaustive que nous avons restructurée selon les différentes phases du cycle de vie d'un bâtiment. Nous avons ensuite sélectionné les paramètres « évaluables », c'est-à-dire non dépendants de situations spécifiques à l'in situ, pour finalement développer notre propre méthode d'évaluation.

Ces différents paramètres ainsi que leur sélection effective pour l'évaluation sont repris dans les tableaux ci-dessous. Ils seront ensuite explicités afin de comprendre leur dynamique d'incidence sur le potentiel de valorisation.

a. Phase de Fabrication (FAB)

Tableau 4.5: Paramètres repris dans la phase de Fabrication (FAB)

Phases	n°	Paramètres		P	R+	R
FAB	-	Matières premières	Ressources	-	-	-
			Quant.matières recyclée	-	-	-
	1	Nature	*homogène ,hétérogène*	-	-	X
	-	Catégorie de matière	*inertes, bois, métal,...*	-	-	-
	2	Formes	*vrac, standardisé,sur mesure*	X	X	-
	3	Dimension/échelle/modularité		X	X	-
	4	Masse volumique		X	(X)	-
	5	Résistance aux usages répétés		X	X	-
	-	Performances	*thermiques, environnementale, acoustique,...*	-	-	-
	-	Coûts (matériau)		-	-	-

P: Prévention; R+: Réemploi; R: Recyclage; X: comptabilisé; -: non comptabilisé

Matières premières

Ressources:

Le type, l'origine et la disponibilité des ressources nécessaires à la fabrication des matériaux doivent représenter des facteurs déterminants dans le choix des matériaux, l'épuisement de nos ressources en est l'enjeu. De ce fait, les ressources renouvelables ou provenant de matières recyclées, d'origine locale et dont la disponibilité est conséquente sont à privilégier. Les matériaux ayant recours à des ressources dont la disponibilité est rare ou limitée devraient d'autant plus justifier leur conservation, leur réemploi ou leur recyclage. Ce paramètre n'a pas été pris en compte dans l'évaluation, car son impact est difficilement évaluable considérant les degrés de valorisation retenus. Cependant, lorsque ces ressources proviennent de matières recyclées ou de réemploi (comme substitut aux matières premières naturelles), leur utilisation influence directement le potentiel de prévention. Dans ce cas, il serait certainement intéressant de considérer ce paramètre.

Quantité de matières recyclées:

L'injection de matières recyclées dans le processus de fabrication permet de substituer aux ressources naturelles des matières premières secondaires réduisant ainsi la pression exercée sur nos ressources. La limitation du pourcentage de matière recyclée utilisée est fonction de réglementations et de limites techniques liées aux processus de fabrication ou aux qualités et performances du produit final. Ce paramètre, bien que non considéré dans l'évaluation, aurait pu être comptabilisé. L'évaluation ayant été développée dans une vision prospective (potentiel de valorisation futur),

nous avons estimé que la quantité de matières recyclées utilisée initialement dans le processus de fabrication des matériaux ne répondait pas entièrement à cette optique anticipative: une grande quantité de matières recyclées usitée à la fabrication ne garantit pas le recours futur à cette même quantité de matières premières secondaires.

Catégorie de matière

La catégorie de matière correspond au type ou à la famille à laquelle le matériau appartient. Nous y retrouvons les types de fractions préalablement étudiés dans la troisième partie de cet ouvrage à savoir: les inertes, les bois et dérivés, les métaux, les liants minéraux et dérivés, le verre, les matières plastiques et dérivés, les isolants, la terre, les matériaux dangereux. L'identification du type de matériaux permet de déterminer la matière potentielle ultérieure disponible, mais également d'établir le plus en amont possible les filières éventuelles vers lesquelles envoyer les différents matériaux en fin de vie. Ce paramètre n'est pas « directement » considéré par l'évaluation, mais il nous permet d'établir le nombre de fractions de type différent qui lui est un paramètre « comptabilisant » repris dans la phase de fin de vie. Notons toutefois que la catégorie « matériaux dangereux » constitue en soi un paramètre d'exclusion [7]pour tous les degrés de potentiel de valorisation.

Nature (1)

La nature du matériau concerne davantage sa composition. Dans l'évaluation, nous proposons de définir la nature d'un matériau comme étant homogène ou composite. Un matériau homogène se caractérise par une composition uniforme et des mêmes propriétés mécaniques en tout point. Ces matériaux peuvent donc être constitués de plusieurs matières (dont liants et additifs), mais le matériau dans son ensemble apparait comme uniforme (pas de différenciation des matières constituantes discernable à l'oeil nu): les panneaux d'OSB ont été considérés comme homogènes (la colle ne se « voit » pas). Les matériaux composites quant à eux se composent d'au moins deux matériaux différents qui peuvent être de catégories (famille) différentes ou similaires. Nous avons défini deux types de matériaux composites: les matériaux hétérogènes et les matériaux multicouches. Le matériau composite multicouche se caractérise par une superposition de couches de matières différentes en général difficilement séparables (exemple de certains panneaux acoustiques ou d'isolant intégrant la couche de finition en plaque de carton-plâtre précollée en usine). Le matériau composite hétérogène se compose de matières différentes mélangées, mais discernables à l'oeil nu (en comparaison de la définition du matériau homogène): par exemple, le béton armé est considéré dans cette analyse comme hétérogène, car les différents matériaux le composant sont visibles à l'oeil (en coupe).

7 - Voir Méthodologie de comptabilisation (4.3.5)

Formes (2)

Les matériaux ou éléments peuvent se présenter sous diverses formes: en vrac, selon des dimensions standardisées rencontrées sur le marché ou encore selon un dimensionnement spécifique à un projet ou une situation (sur mesure ou dimensions particulières hors normes). La forme du matériau possède un impact à différents niveaux. Sur le potentiel de prévention, elle va principalement influer sur la production de chutes: dans le cas de matériaux utilisés en vrac ou dans le cas d'éléments réalisés sur mesure (donc à dimension spécifique réalisée en usine), la production de chutes est généralement plus faible que dans les autres cas. Concernant les matériaux présentant des dimensions standardisées, la production de chutes peut être réduite par la réalisation de calepinage (intégrant les dimensions spécifiques des matériaux à la conception). Par rapport au réemploi par contre, ces éléments standardisés présentent un potentiel intéressant puisque leur standardisation facilite leur « réintégration » sur le marché ou dans la construction même. Les matériaux en vrac sont aussi potentiellement plus facilement réemployables alors que le « sur mesure » diminue ce potentiel (mais ne l'annule pas non plus).

Dimensions/Échelles/Modularité (3)

Concernant ce paramètre, considéré comme complémentaire au paramètre de forme détaillé ci-dessus, nous avons voulu différencier le possible impact de l'échelle des matériaux sur les potentiels de prévention et de réemploi. Nous avons émis l'hypothèse que:

- plus les dimensions du matériau sont petites, plus la production de chutes lors de la mise en oeuvre sera faible (grâce notamment à l'échelle elle-même et une facilité de manutention accrue -> action sur la prévention) et, plus le réemploi de ces matériaux sera simplifié.
- par contre, plus un élément proposera une échelle importante, plus les risques d'altération liés à la manutention seront grands (avec un impact éventuel sur le type d'outillage et l'exécution) et plus il sera difficile de replacer ce matériau comme élément réemployé sans redimensionnement préalable.

Masse volumique/densité (4)

La masse volumique, définie également parfois par le terme densité, correspond à la masse d'un matériau (poids) par unité de volume (1 m^3). En quoi ce paramètre peut-il être influençant dans la valorisabilité ? L'impact de ce paramètre est d'ordre indirect. Il doit être considéré en complément du paramètre précédent. Nous avons émis l'hypothèse que ce paramètre pouvait influer sur le potentiel de prévention de la manière suivante:

- plus le matériau est « lourd », plus potentiellement sa manutention est rendue difficile accroissant de la sorte les risques de chutes (impact sur le potentiel de

prévention)

Nous proposons de distinguer trois classes de masse volumique: inférieur à 500 kg/m^3, entre 500 et 1000 kg/m^3 et supérieur à 1000 kg/m^3.

Résistance aux usages répétés (5)

La résistance aux usages répétés influence directement la durée de vie des éléments puisque potentiellement, plus cette résistance est importante, plus la durée de vie le sera aussi. Ce paramètre possède une influence sur les potentiels de réemploi et de prévention. En effet, le remplacement sera moins fréquent (prévention) et la réutilisation facilitée (réemploi). N'ayant pas trouvé de données précises relatives à la résistance aux usages répétés des matériaux et parois évalués, les réponses à ce paramètre ont été réalisées selon notre appréciation. En effet, ce n'est pas parce qu'un matériau présente une densité et une dureté importantes que sa résistance aux usages répétés sera forcément conséquente (bien que ces caractéristiques puissent néanmoins jouer un rôle): il peut très bien être « cassant », « fragile » ou ne pas supporter les agressions d'ambiances intérieures spécifiques.

Performances thermiques et environnementales

Les performances thermiques et environnementales constituent aujourd'hui des paramètres influençant de manière importante le choix des matériaux, plus encore dans le cas des performances thermiques depuis l'avènement des réglementations sur la performance énergétique des bâtiments. Ces paramètres ne sont pas comptabilisés dans l'évaluation qualitative, mais seront traités dans l'évaluation quantitative proposée dans le chapitre suivant. Notons qu'il existe une multitude d'autres performances qui influencent aussi le choix d'un matériau: performances acoustiques, de résistance au feu, performances mécaniques, hygrométriques...

b. Phase de Mise en oeuvre (MEO)

Tableau 4.6: Paramètres repris dans la phase de Mise en oeuvre (MEO)

Phases	n	Paramètres		C	R+	R
MEO	6	Préfabrication		X	-	-
	-	Nbre de matériaux de type différent		-	-	-
	-	Situation dans le Layer (*Ls, Le, Li)*		-	-	-
	7	Assemblages/Connexions	Types	-	X	

	8		Nombre	-	X	
	-	Indépendance entre couches		-	-	-
	-	Accessibilité des connexions		-	-	-
	9	Système constructif		X	X	-
	-	Manutention, Outillage, Exécution		-	-	-
	-	Chutes		-	-	-
	-	Coûts (main d'oeuvre)		-	-	-

P: Prévention; R+: Réemploi; R: Recyclage; X: comptabilisé; -: non-comptabilisé

Préfabrication (6)

La préfabrication en usine permet en général de limiter les déchets de chutes sur chantier. Outre le fait qu'elle en réduit la production, les déchets sont générés sur le site de fabrication. Ce processus permet, d'une part d'obtenir des flux plus « purs », car la contamination des chutes par le travail sur chantier est évitée, et d'autre part de réinjecter les chutes directement dans le processus de production quand le recyclage est possible. Ce paramètre a donc été défini comme déterminant dans la prévention des déchets.

Nombre de matériaux différents

Le nombre important de matériaux différents peut avoir une influence sur la complexité de mise en oeuvre, sur la multiplicité des types d'assemblage ainsi que sur les quantités potentielles générées en fin de vie. En effet, plus le nombre de matériaux et donc de fractions de type différent est conséquent, moins grandes seront les quantités respectives de chaque fraction. Or, nous savons que sur chantier (particulièrement les petits chantiers en milieu urbain), le manque de place pour le tri est actuellement problématique. Plus les fractions à traiter seront nombreuses, moins le tri à la source sera poussé. Ce paramètre donc est relativement similaire et même directement lié au paramètre *nombre de fractions différentes* repris dans la phase de fin de vie. Ensuite, il influence également les paramètres tels que *système constructif* ou *nombre d'assemblages*. Afin d'éviter les doubles comptages et donc de donner un

poids trop important à ce paramètre, il ne sera pas comptabilisé dans cette phase, mais sera repris dans les trois paramètres y étant liés et cités ci-dessus.

Situation dans layers

La situation dans layers est un paramètre non comptabilisant utilisé à titre informatif avec un certain facteur d'influence. Les layers considérés dans ce paramètre se basent sur la proposition de décomposition développée dans la troisième partie de cette thèse. S'inspirant notamment des théories de Steward BRAND, trois layers sont ainsi identifiés: le layer extérieur (Le), le layer structurel (Ls) et le layer intérieur (Li). Pour chacun de ces layers et sur base des durées de vie indicatives utilisées dans l'outil de bilan environnemental de Sophie TRACHTE, nous avons proposé les durées de vie suivantes:

- Ls: > 50 ans
- Le: de 30 à 50 ans
- Li: < 30 ans (voire plutôt de l'ordre de 10 ans)

En quoi ce layer est-il influent ? Comme nous l'avons dit, le paramètre n'offre aucun « point » à l'évaluation. Par contre, la situation des matériaux dans les layers va nous permettre d'identifier la compatibilité des durées de vie de ces matériaux avec la durée de vie attendue du layer dans lequel ils se trouvent. Si la durée de vie du matériau correspond (ou est supérieure), le matériau obtient le score maximum. Si la durée de vie des matériaux est inférieure de manière globale à celle du layer dans lequel ils se trouvent, le score est considéré comme nul. Notons que plusieurs durées de vie type peuvent être observées au sein d'un même layer (comme c'est le cas pour la cellulose insufflée dans une structure bois).

Assemblages/Connexions (7) et (8)

Le paramètre *assemblages/connexions* est subdivisé en deux sous-paramètres: le *type d'assemblage (7)* et le *nombre d'assemblages (8)*. Le type de connexion et d'assemblage est déterminant quant aux possibilités ultérieures de désassemblage et donc de réemploi. Il peut également, mais dans une moindre mesure, influencer le recyclage par la qualité potentielle des fractions générées en fin de vie. Concernant l'impact du *nombre d'assemblages*: plus ce nombre est important, plus la complexité du système constructif risque de croître, plus le démontage et la récupération seront difficiles et onéreux (plus de main d'oeuvre et plus de pertes).
En nous inspirant du travail de thèse d'Anne PADUART, nous avons différencié les différents types d'assemblage de la manière suivante:

- assemblage de type sec ou mécanique
    -> sans fixation (vrac, emboîtement...)
    -> avec fixation réversible (boulons, vis, équerres...)
    -> avec fixation semi-réversible (clous, agrafes...)

- assemblage de type humide ou par collage
  -> dont $R_{joints} < R_{matériau}$ (ex: mortier de chaux et brique)
  -> dont $R_{joints} > ou = R_{matériau}$ OU colles
  -> solidarisation sans éléments tiers (ex:plafonnage)

Le recours aux assemblages de type humide limite fortement voire annihile le potentiel de réemploi et diminue celui du recyclage dans certains cas (en fonction de la facilité de séparation des fractions, de la différence de catégorie et de la limite d'impureté acceptable dans le processus de recyclage). Nous retiendrons que les assemblages humides de type 2 et 3 ($R_{joints} > ou = R_{matériau}$,colles, solidarisation sans éléments tiers) constitueront des paramètres d'exclusion dans la méthode de comptabilisation (voir 4.3.5). Le paramètre *assemblage,* dont l'impact est considéré pour le potentiel de réemploi, influence également directement au moins deux autres paramètres que sont l'*indépendance entre couches* et la *qualité potentielle des fractions.* Ces paramètres sont comptabilisés dans les potentiels de prévention et recyclage.

Indépendance entre couches

Comme nous l'avons spécifié dans le paramètre précédent, l'indépendance entre couches est directement liée au type d'assemblage utilisé. Ce paramètre sera plutôt comptabilisé dans la phase de vie en oeuvre (VEO) puisqu'il aura une influence sur la facilité de remplacement des éléments. Plus l'indépendance entre couches sera importante, plus potentiellement le remplacement ou l'intervention sera aisé(e). Le paramètre d'indépendance concerne les trois premiers potentiels (prévention, réemploi, recyclage).

Accessibilité des connexions

L'accessibilité des différents éléments joue également un rôle dans le gaspillage de matières lors d'un remplacement, d'un entretien ou d'une réparation. Cette accessibilité doit être pensée selon la durée de vie (fréquence de remplacement) et la fréquence d'entretien respectives des constituants. Plus la fréquence d'entretien ou de remplacement est importante, plus l'accessibilité doit être facilitée. Comme pour le paramètre précédent, l'accessibilité sera évaluée dans la phase de vie en oeuvre.

Système constructif (9)

Nous avons proposé trois solutions pour le paramètre système constructif:

- système constructif simple ou couramment usité
- système constructif parfois usité
- système constructif complexe ou rarement usité

La complexité d'un système constructif peut être influencée par divers facteurs: le nombre conséquent de matériaux divers, le nombre important de connexions et de types d'assemblage différents, le manque de réflexion sur les détails techniques et les

raccords entre composantes de l'enveloppe et éléments constructifs, le manque de clarté des plans ou encore le recours à des techniques constructives peu répandues. Nous avons considéré que ce paramètre pouvait potentiellement avoir un impact sur la prévention (limitation des pertes dissipatives liées aux erreurs de mise en oeuvre) et le réemploi (compréhension plus aisée du système facilitant le démontage). De manière générale, les parois types analysées dans la suite de ce travail proposent rarement des cas de système constructif particulièrement complexe.

Manutention, outillage

Ces paramètres ne sont pas considérés dans la comptabilisation. Nous souhaitions cependant les soulever, car la facilité de manutention comme l'outillage sont des facteurs pouvant potentiellement influencer la production de chutes et de déchets sur chantier. Les éléments qui peuvent impacter la facilité de manutention concernent premièrement la combinaison dimensions et poids: plus un matériau sera lourd et grand, plus le risque de « dégâts » liés à la manutention sera important. Concernant l'outillage, les liens directs sont moins évidents. Mais nous considérons que plus l'outillage usité est simple et le système constructif facilement appréhendable, plus facilement se feront le montage et le démontage facilitant de la sorte le réemploi. De plus, le niveau de formation nécessaire à l'application d'une bonne mise en oeuvre sera limité (on évite les formations particulières relatives aux spécificités d'utilisation de certains outils).

Chutes

La quantité de chutes générée sur chantier par la mise en œuvre est un élément difficilement prédictible. Nous avons donc décidé d'écarter ce paramètre de la comptabilisation dans l'évaluation. Cependant, notons que certains facteurs sont déterminants dans l'évitement de la production de chutes: les matériaux utilisés en vrac par exemple seront moins générateurs de pertes. Et proportionnellement, les éléments présentant des dimensions standardisées réduites produiront moins de chutes que les plus grands formats. Les éléments réalisés sur mesure sont par leur nature adaptés à une situation précise et sont donc peu générateurs de déchets liés à la mise en oeuvre, sauf dans le cas où des erreurs de prises de mesures ou de mises en oeuvre surviennent. La production éventuelle de chutes peut donc en grande partie être estimée sur base du paramètre *forme*. Notons que concernant l'objectif de réemploi les chutes de mise en oeuvre présentent peu de potentiel. Le recyclage de ces dernières est donc en général privilégié, car plus adapté. Le réemploi est néanmoins possible dans le cas où il s'agit de surplus où les éléments sont conservés dans leur intégralité (ex.: plaques entières, blocs entiers, etc.) ou lorsque les chutes présentent des dimensions suffisantes pour être réutilisées.

Coûts

Les coûts de main-d'œuvre dépendent de nombreux facteurs. Ils dépendent du degré de formation nécessaire des ouvriers, mais ils sont également liés à la rapidité d'exécution (homme/jour) et donc à la facilité de montage, à l'outillage nécessaire, à la complexité des détails, etc. Un paramètre pouvant influencer ces coûts concerne donc les *assemblages et connexions*. Ce paramètre n'a pas été comptabilisé étant donné la difficulté d'estimation sur des cas génériques de parois types. Il serait sans doute plus aisé d'obtenir ces informations en considérant un cas concret de rénovation.

c. Phase de Vie en oeuvre (VEO)

Tableau 4.7: Paramètres repris dans la phase de Vie en oeuvre (VEO)

Phases	n	Paramètres		P	R+	R
VEO	10	Durée de vie	*> 50, de 30 à 50 ou < 30 ans*	-	X	-
	11	Remplacement		X	-	-
	12	Indépendance entre couches		X	X	X
	13	Accessibilité des connexions		X	X	-
	14	Compatibilité durée de vie et situation dans layer		X	-	-
	-	Compatibilité remplacement et types et accessibilité des connexions		-	-	-
	15	Besoins en entretien/maintenance		X	-	-
	-	Accessibilité des couches		-	-	-
	-	Compatibilité entre besoin en entretien et accessibilité des couches		-	-	-
	-	Coûts (main d'oeuvre et remplacement)		-	-	-

P: Prévention; R+: Réemploi; R: Recyclage; X: comptabilisé; -: non-comptabilisé

Durée de vie (10)

La durée de vie (typique) est associée à l'usage théorique et non réel des produits. Cela signifie que d'un usager à un autre et/ou d'un contexte à un autre, certains éléments peuvent être remplacés bien avant l'indication de leur durée de vie typique et à l'inverse, ils peuvent être conservés au-delà de leur durée de vie annoncée. La fin de la durée de vie signe en général le renouvellement des parties. La valeur est le plus souvent communiquée par le fabricant considérant un usage normal et un entretien normal avec d'éventuelles réparations. Il ne s'agit pas d'un système de garantie produit. Nous constatons qu'il est extrêmement difficile d'estimer la durée de vie réelle qu'aura un produit. Sauf dans certains cas où une obsolescence programmée

est intégrée à l'objet, mais, à notre connaissance, ce phénomène ne concerne pas le secteur de la construction.

Concernant le paramètre de durée de vie, nous nous sommes basés sur les données fournies dans l'outil d'évaluation environnementale [TRACHTE, 2012] elles-mêmes basées sur les informations fournies par les fabricants de matériaux. Nous proposons dès lors de considérer trois classes de durées de vie différentes (adaptées essentiellement aux durées de vie des éléments de l'enveloppe): > 50 ans, de 30 à 50 ans, < 30 ans. Ce paramètre va principalement influencer les potentiels de réemploi et indirectement de prévention. L'influence en termes de prévention sera en effet comptabilisée selon le nombre de remplacements opérés.

Remplacement/ Renouvellement (11)

Le renouvellement dépend directement de la durée de vie des éléments. Nous considérons ici la durée de vie typique des matériaux. En réalité, le renouvellement dépendra de l'intensité d'usage, du contexte, de son exposition à l'usure ou simplement des besoins et envies de l'usager. Il est important de remarquer que les parois et layers se composent de divers matériaux présentant des durées de vie différentes. Si ce paramètre n'a pas été pris en considération lors de la conception pour rendre les éléments de parois présentant des durées de vie fortement différentes facilement dissociables, c'est théoriquement l'élément qui présente la plus faible durée de vie qui déterminera le remplacement total de la paroi ou d'une partie de celle-ci. En réalité, nous doutons que de telles opérations se produisent uniquement sur base de la durée de vie annoncée des matériaux. Les causes liées au remplacement, à la rénovation ou à tout autre type d'intervention dépendent en réalité de facteurs multiples et parfois complexes difficilement anticipables [BRAND, 1994]. Le paramètre de remplacement est calculé sur 50 ans et est comptabilisé dans le potentiel de prévention. Plus les remplacements seront nombreux, plus il y a de risques connexes de production de déchets, sans compter l'impact environnemental de ce type d'opération. Pour prévenir, il faut donc veiller à utiliser le matériau dont la durée de vie est adéquate à la fonction attendue pour ce dernier.

Indépendance entre couches (12)

Nous avons déjà brièvement abordé ce paramètre dans la phase précédente (MEO), mais c'est dans la phase de vie en oeuvre qu'il sera comptabilisé. Les différents layers et éléments peuvent s'avérer difficilement dissociables une fois mis en oeuvre. Or, ces derniers présentent des durées de vie, des fonctions et des expositions variées qui nécessitent selon les cas des renouvellements plus ou moins fréquents. Plus les éléments présentent d'indépendance, plus il sera aisé de les remplacer le cas échéant sans nécessairement démolir toute la paroi ou une partie de celle-ci. L'indépendance fonctionnelle permet donc de prolonger la durée de vie des autres éléments non

concernés par le remplacement. Ce paramètre est en corrélation avec le paramètre précédent et est directement influencé par le type d'assemblage. Il est comptabilisé dans les potentiels de prévention, de réemploi et de recyclage.

Accessibilité des connexions (13)

Comme pour le paramètre indépendance entre couches, l'accessibilité des connexions a été mentionnée dans la phase de mise en oeuvre. C'est pourtant dans les phases de vie en oeuvre et de fin de vie que ce paramètre prend toute son importance. Nous avons estimé ce paramètre selon la nécessité de démolition partielle préalable pour arriver à la connexion de la couche considérée. Ce paramètre est donc en partie influencé par le type d'assemblage également. Pour illustrer notre proposition par un exemple, prenons le cas des layers extérieurs des parois types *F.exist+* et *F.exist++*. Dans le premier cas (crépi sur isolant EPS), le résultat sera nul puisqu'aucune connexion n'est accessible (elles sont soit collées soit solidarisées sans éléments tiers): pour éventuellement accéder aux fixations mécaniques de l'isolant (rondelles) il faut préalablement démolir le crépi. Par contre, dans le cas de *F.exist++*, les vis utilisées pour fixer le bois de bardage puis progressivement le lattage, les panneaux pare-pluie, etc. sont accessibles. Cette accessibilité progressive et le type d'assemblage permettent le démontage par couche successive des éléments de cette paroi. Ce paramètre est considéré comme ayant un impact sur les potentiels de prévention et de réemploi.

Compatibilité entre durée de vie et la situation dans les layers (14)

Le résultat de ce paramètre est déterminé par la confrontation de deux autres paramètres: durée de vie et situation dans layer. Nous reprenons donc l'explication préalablement donnée pour les layers: si la durée de vie du matériau correspond à la durée de vie du layer dans lequel il est contenu (ou lui est supérieure), le matériau obtient le score maximum. Si la durée de vie des matériaux est inférieure de manière globale à celle du layer dans lequel ils se trouvent, le score est considéré comme nul. Les résultats obtenus sont alloués au potentiel de prévention.

Compatibilité entre remplacement, types et accessibilité des connexions

Ce paramètre n'est pas comptabilisé. Nous en avons déjà discuté préalablement dans les points sur le *remplacement* et l'*accessibilité des connexions*.

Besoins en entretien (et maintenance) (15)

La fréquence en entretien et en maintenance est en général indiquée par le fabricant. Un entretien correct permet d'assurer une durée de vie plus longue aux éléments. Et ce dernier ne peut être assuré que par une accessibilité adéquate des couches

concernées. Ces paramètres sont donc intimement liés. En outre, plus le besoin en entretien (vernis, peinture...) est important plus la production de déchets y étant liés sera potentiellement importante. Il est donc essentiel d'entretenir adéquatement les matériaux, mais il est également peut-être plus intéressant de choisir des matériaux qui nécessitent peu d'entretien. Ce paramètre a été considéré comme « comptabilisant » dans l'évaluation du potentiel de prévention. Notons toutefois que, de manière générale, à part les couches de finitions (intérieures et extérieures) les autres couches sont généralement considérées comme nécessitant peu d'entretien.

Accessibilité des couches (nécessitant un entretien fréquent)

Ce paramètre est non comptabilisant. Il est principalement utilisé à titre informatif. Le principe est celui-ci: plus un matériau doit être entretenu, plus son accessibilité devrait être aisée.

Compatibilité entre entretien et accessibilité

Ce paramètre, également non comptabilisé dans l'évaluation, permet de vérifier si les deux paramètres précédents coïncident. Si ces derniers ne se rejoignent pas, essentiellement dans le cas d'une accessibilité réduite pour les matériaux/produits demandant beaucoup d'entretien, cette non-concordance peut impacter la durée de vie des éléments concernés (moins entretenus) et ceux qui pourraient potentiellement être démolis pour y accéder. Ce paramètre concerne moins les composantes de l'enveloppe, il n'est donc pas repris.

Coûts

Le coût durant la phase de vie en oeuvre se rapporte aux budgets alloués à la maintenance, à l'entretien (réparations éventuelles et main d'oeuvre) et au remplacement des éléments durant la vie en œuvre du bâtiment. Ces coûts sont difficiles à estimer. Nous n'en tiendrons pas compte dans l'évaluation.

c. Phase de Fin de vie ou Fin de cycle (FDV)

Dans cette phase du cycle de vie, nous regrouperons certains paramètres par filières spécifiques de traitement en commençant par des paramètres généraux valables pour toutes les matières en fin de vie, indépendamment de leur traitement. Certains paramètres liés à la fin de vie sont extrêmement liés aux spécificités du contexte in situ. La réponse à ces paramètres sera donc plutôt déterminée au cas par cas. Nous n'en tiendrons pas compte dans l'évaluation étant donné que l'analyse est opérée sur des cas génériques (parois types). Néanmoins, nous expliciterons quelque peu ces paramètres puisqu'ils ont aussi leur importance et qu'ils pourront aider le concepteur dans son diagnostic avant l'intervention dans la gestion de chantier.

Tableau 4.8: Paramètres repris dans la phase de Fin de vie (FDV)

Phases		n	Paramètres		P	R+	R	C	I
FDV	Général	16	Fractions	Classe	-	-	-	-	-
				Nombre de fractions	X	X	X	-	-
				Quantité potentielle des fractions	-	-	-	-	-
		17		Qualité potentielle des fractions	X	X	X	-	-
	Réemploi	18	Diagnostic	Adapté au réemploi	-	X	-	-	-
				Valeur patrimoniale	-	-	-	-	-
				Etat général	-	-	-	-	-
			Possibilités in situ	Stockage temporaire, influence sur le phasage, remise en état préalable, redimensionnement préalable, fonction attendue, certification nécessaire	-	-	-	-	-
		19	Possibilités hors site	Filières	-	X	-	-	-
				Système de collecte sélective	-	-	-	-	-
				Coûts	-	-	-	-	-
	Recyclage	20	Diagnostic	Recyclable	-	-	X	-	-
			Possibilités in situ	quantité justifiable, compatibilité avec l'espace disponible/ l'environnement, nuisances, permis, influence sur le phasage, coûts	-	-	-	-	-
		21	Possibilités hors site	Filières	-	-	X	-	-
				Système de collecte sélective	-	-	-	-	-
				coûts	-	-	-	-	-
	Autres	22	Compostable		-	-	-	X	-
		23	Incinérable		-	-	-	-	X

Fractions (16) et (17)

Classes

Même si ce paramètre n'est pas comptabilisé, il est pourtant déterminant. En effet, il déterminera l'obligation de tri minimum sur chantier. Notons toutefois que les déchets de classe 1 (déchets dangereux), ont été considérés comme un critère d'exclusion (c'est-à-dire annulant le résultat potentiel de ces matériaux pour le réemploi ou le recyclage).

Nombre de fractions (16)

Le nombre de fractions est déterminé par le *nombre de matériaux de catégorie dif-*

férente identifié dans la phase de mise en oeuvre. Ce paramètre, que nous avons qualifié d'influent sur les potentiels de prévention, réemploi et recyclage, est cependant comptabilisé dans la phase de fin de vie ici traitée. En effet, plus le nombre de fractions à trier est important plus potentiellement le tri à la source risque d'être compromis: la diminution des quantités proportionnelles pour chaque fraction semble moins justifier un tri poussé, les espaces de tri et de stockage nécessaire seront plus importants, l'évacuation « groupée » (conteneur mélange) sera en général préférée quand le manque de place disponible est présent (caractéristique des zones urbaines).

Quantité potentielle des fractions (17)

Comme expliqué précédemment, les quantités potentielles des fractions peuvent influencer la qualité du tri. Effectivement, plus une fraction sera présente en quantité importante, plus elle va rentrer en ligne de compte dans la gestion des déchets de chantier. Comme le prix est en général dégressif du conteneur mélange aux fractions plus « pures », mais que les volumes contenus sont relativement importants, le conteneur pour une fraction spécifique ne sera retenu que si sa quantité le justifie. Notons qu'une étude menée pour Bruxelles Environnement analysant les différents types de contenants sur chantier détaille d'autres opportunités que le conteneur. Nous ne tiendrons pas compte de ce paramètre, car il est intimement lié aux spécificités du chantier (place, situation, etc.) et des quantités réelles pouvant y être générées.

Qualité potentielle des fractions:

La qualité potentielle des fractions a été déterminée selon le type d'assemblage utilisé dans la paroi. Plus l'assemblage est « réversible » c'est-à-dire plus la paroi est « démontable », plus la qualité des fractions sera potentiellement bonne. D'autres facteurs inhérents au chantier influencent également cette qualité comme la propreté du chantier, la connaissance des filières, la formation des ouvriers (dans leur pratique et l'identification des fractions pour le tri), le phasage des intervenants, le type de contenants, l'espace disponible, l'organisation, la planification, etc. Cependant, ces facteurs sont difficilement évaluables dans le cadre de cette évaluation. Nous nous baserons donc essentiellement sur le type d'assemblage pour répondre à ce paramètre. Celui-ci sera déterminant quant aux possibilités de réemploi et de recyclage et aussi en termes de prévention.

Réemploi (18) et (19)

1. Diagnostic

Le matériau est-il **adapté** au réemploi ? (18)

Certains éléments/matériaux possèdent des caractéristiques plus adaptées au réemploi que d'autres. Ainsi, si nous comparons une brique pleine avec une laine de verre,

le premier matériau peut être considéré comme adapté au réemploi alors que le second non. Les matériaux coulés dans la masse sont en soit inaptes au réemploi. Par réemploi, nous entendons ici une démise en oeuvre préalable des éléments et non la conservation de ces derniers à leur place. Cette opération de préserver des éléments construits est dans certains cas considérée comme une réutilisation (RefB). Le paramètre adapté au réemploi est repris dans l'évaluation et concerne essentiellement le potentiel de réemploi. Notons qu'il fait également l'objet de l'application du critère exclusif (voir méthodologie d'évaluation): si un matériau est identifié comme inapte au réemploi, il perd les points éventuellement gagnés ailleurs pour ce degré de valorisation.

Le matériau a-t-il une valeur patrimoniale/historique, esthétique ou culturelle ?

Une autre question qui doit être soulevée lors de la réflexion menée sur la valorisation des matières est de savoir si le matériau possède une quelconque valeur patrimoniale, esthétique et/ou culturelle. Dans de nombreux cas, si elle est réelle, cette valeur est identifiée, principalement dans le cas des antiquités et matériaux anciens, car il y a une réelle plus-value économique liée. Néanmoins, il est fréquent de voir ce type de matériaux rejoindre les conteneurs de déchets mélange. Cela est essentiellement dû à une méconnaissance des différents acteurs. Outre le prix du marché déterminant la valeur économique des éléments réemployés, la notion de « valeur » (esthétique et culturelle surtout) est également très discutable puisqu'elle peut fortement différer d'une personne à une autre en fonction de ses références et composantes personnelles. Au regard des interprétations variables possibles, mais surtout du caractère unique de chaque pièce, nous ne tiendrons pas compte de ce paramètre dans l'évaluation.

Quel est l'état général du matériau ?

Parce qu'ils conviennent toujours à la fonction et aux attentes, certains matériaux sont simplement démontés pour être replacés in situ (ou ailleurs) moyennant parfois une remise en état ou un redimensionnement préalable (seuils de fenêtre en pierre, radiateurs...). D'autres nécessitent plus de travail ou d'imagination (briques à nettoyer préalablement, changement de fonction du matériau, matière provenant d'un autre secteur que celui de la construction...). Avant tout réemploi, il est nécessaire d'établir une inspection visuelle voire certains tests complémentaires pour vérifier la réemployabilité réelle des éléments récupérés. Ce paramètre est lié aux spécificités du matériau dans son contexte. Le caractère global de la présente évaluation (analyse de parois types), nous a amenés à éliminer ce paramètre, même s'il est essentiel pour un objectif de réemploi.

2. Possibilités in situ

Les paramètres spécifiquement liés aux situations in situ ne sont pas repris dans l'évaluation de la *valorisabilité* des parois types. Toutefois, étant donné leur impact

réel sur les possibilités de réemploi, ils sont brièvement détaillés ci-après puisque les questions qu'ils soulèvent devront être traitées de toute façon par l'architecte.

Après le diagnostic général, les possibilités de réemploi in situ doivent être étudiées. Elles sont en effet à privilégier avant une quelconque réorientation vers les marchés de revente de matériaux puisqu'elles évitent les opérations de transport intermédiaires.

Quel est l'espace de stockage disponible et nécessaire et sous quelles conditions ?
Outre l'intégration dans la conception d'une réflexion sur le réemploi in situ, une autre question d'ordre logistique apparaît: faut-il stocker temporairement les matériaux destinés au réemploi, et surtout, quels espaces sont nécessaires et quels espaces sont disponibles ? Les éléments destinés à être récupérés nécessitent souvent d'être entreposés et stockés temporairement sur le site (ou en dehors, à proximité) de façon à éviter toute altération éventuelle. Les conditions d'entreposage varient également d'un matériau à un autre: peut-il être stocké dehors/à l'intérieur, à l'abri de l'humidité ou du gel... Nous constatons qu'il s'agit d'une problématique importante dans le cas des chantiers bruxellois puisque de manière générale, le manque d'espace pour réaliser ce type d'opération est inhérent à la majorité des projets. Une bonne organisation et une planification adaptée ainsi qu'un système de collecte performant permettrait de pallier à cette difficulté.

Une remise en état et/ou un redimensionnement sont-ils nécessaires ?
Lors d'une opération de réemploi, une remise en état préalable des éléments est parfois nécessaire. Elle peut être réalisée sur place ou en atelier. Il peut s'agir d'un nettoyage général, d'un ponçage, d'un vernissage, d'une mise en peinture, ou toute autre opération permettant le réemploi aux fins attendues. Il en va de même pour le redimensionnement des éléments surtout si ceux-ci présentent des dimensions importantes. Savoir hors contexte si un redimensionnement est nécessaire ou non apparaît comme impossible sans connaître préalablement l'utilisation ultérieure.

Quelle fonction est-elle attendue ?
Lors d'un réemploi, les éléments ou matériaux récupérés peuvent servir à une même fonction ou peuvent être utilisés à d'autres fins. Dans le second cas, ce sont l'imagination et la créativité du concepteur qui valoriseront la matière pour une seconde vie. En effet, il n'existe aucune généralité quant à la création de nouvelles fonctionnalités si ce n'est qu'il faut être attentif à la question de la « garantie » sur le produit.

Une certification est-elle nécessaire ?
Ce paramètre concerne essentiellement les matériaux de réemploi devant répondre à certaines exigences et réglementations. Ces exigences peuvent être liées aux résistances mécaniques, thermiques, acoustiques des matériaux (ou autre). Par exemple, un élément réemployé pour une fonction portante doit pouvoir assurer la stabilité

du bâtiment. La réglementation incendie fait également l'objet d'une attention particulière. Enfin, les parois rénovées ou (re)construites doivent pouvoir répondre à certaines valeurs réglementaires (PEB, acoustique...). Or, la problématique des matériaux de réemploi est justement de pouvoir garantir ses performances, ce que font en général les fabricants pour tous leurs nouveaux produits. Dès lors, la question qui se pose est de savoir qui prend la responsabilité. Pour certaines fonctions où les performances attendues doivent pouvoir répondre à des exigences spécifiques, des tests devront sûrement être conduits dans le but de certifier ou garantir la qualité du produit réemployé. Cette opération présente un coût (augmentation des délais, car étape supplémentaire, prix de la certification et des tests...) et annule le bénéfice éventuel de garder la matière sur site (transports intermédiaires pour tester la matière et la ramener sur le chantier...).

3. Possibilités hors site

Filières (19)

Contrairement au cas des matériaux neufs, les matériaux de réemploi ont la particularité de voir leur production et leur approvisionnement fluctuants et non garantis. Lorsqu'on recourt aux matériaux de réemploi, il faut en être conscient et vérifier que la quantité nécessaire requise par le projet coïncide avec la disponibilité du matériau ou élément souhaité. Une autre démarche possible est de partir des éléments de réemploi à disposition pour influencer la conception architecturale et le choix des matériaux. L'offre et la demande représentent l'enjeu primordial du recours aux matériaux de réemploi. Si le but n'est pas de réutiliser les éléments récupérés in situ, il apparaît important de se renseigner sur l'existence de filières de réemploi relatives aux matériaux récupérés. Ces derniers seront orientés soit vers des filières de préparation au réemploi soit directement vers des revendeurs. Dans l'évaluation opérée, nous avons considéré l'existence ou non de filières de revente de matériaux de seconde main selon la fraction considérée. En effet, ce n'est pas parce qu'un élément est décrit comme « réemployable » que la filière de valorisation via le réemploi existe pour ce type de matériau.

Collecte sélective

Après vérification de l'existence de filières de réemploi, il faut s'informer sur l'existence d'un système de collecte adapté. Si aucun système de ce type n'est assuré soit par des filières de préparation au réemploi, soit par les revendeurs soit par des intermédiaires, l'évacuation du chantier est à charge de l'entrepreneur et/ou du MO. Nous n'avons pas considéré ce paramètre dans la comptabilisation de l'évaluation.

Coûts

La déconstruction est une étape essentielle pour assurer la qualité des fractions et éléments destinés au réemploi. Or, ce type d'opération nécessite en général une main-d'oeuvre plus importante et a tendance à rallonger les délais. Le coût de cette

main-d'œuvre dépend principalement du niveau de qualification nécessaire des ouvriers. Les délais sont eux-mêmes influencés par la complexité du système constructif, les difficultés de manutention, le type d'outillage nécessaire, etc. Globalement, la démise en oeuvre est donc un processus chronophage dont il ne faut pas sous-estimer l'impact dans la planification de l'intervention de rénovation sous peine d'alourdir un peu plus les coûts de cette opération. Notons toutefois que cet investissement initial peut être récupéré par un coût dégressif lié au traitement des déchets (meilleure qualité des fractions et quantités réduites). En outre, l'utilisation de matériaux de réemploi requiert parfois une mise en œuvre et/ou des compétences particulières pouvant augmenter les coûts (changements d'habitudes dans l'approche constructive). Un autre paramètre à vérifier est le coût du matériau de réemploi utilisé. Pour être attractif, ce coût devrait être inférieur au prix d'achat d'un matériau neuf comparable sauf dans le cas où son caractère patrimonial, esthétique et/ou unique le justifie.nParallèlement, la revente des matériaux « produits » sur chantier pourrait constituer une entrée d'argent devant être prise en compte dans le bilan financier de l'opération de rénovation. Cependant, cette information est parfois difficile à évaluer avant la revente effective des éléments. Vu son caractère variable et parfois difficilement évaluable, nous ne tiendrons pas compte de ce paramètre dans l'évaluation.

Recyclage (20) et (21)

1. Diagnostic

Le matériau est-il **recyclable** ? (20)

À l'heure actuelle, le recyclage des matériaux de construction est une pratique devenue de plus en plus incontournable. La première question à se poser est de savoir si le matériau considéré est effectivement recyclable. Nous différencions deux types de recyclage: le recyclage des chutes de production (avec réintégration dans le processus de fabrication) et le recyclage des déchets de construction. Nous avons distingué ces deux types de recyclage sur base du niveau d'impuretés acceptable. En effet, la pureté des fractions sur le site de production est en général plus importante que celle obtenue sur chantier où les déchets de construction possèdent des risques substantiels de « contamination » par d'autres matières. Notons également que sur chantier, les chutes de matériaux neufs peuvent être moins « souillées » si une attention particulière est portée au tri à la source, alors que les débris de matériaux provenant de l'édifice existant subissent en général un mélange avec les autres matières présentes du fait de leur mise en oeuvre initiale: il est même parfois difficile de dissocier les éléments entre eux. Ce paramètre a été comptabilisé dans l'évaluation de la manière suivante: les matières théoriquement recyclables à partir de déchets de chantier (taux d'impuretés moyen) ont un score maximum de 1 alors que les matières dont le taux d'impureté accepté est faible à nul (correspondant notamment aux déchets de production) proposent un score moyen de 0,5.

2. Possibilités in situ

Lorsque le recyclage in situ est envisageable, cette solution est à encourager, car elle réduit fortement l'impact environnemental lié aux opérations de transport intermédiaires. Néanmoins, le recyclage in situ relève actuellement plus du down-cycling: nous pensons notamment aux déchets inertes recyclés et utilisés comme remblais. Ensuite, en milieu urbain relativement dense, il existe souvent peu de possibilités spatiales permettant de recycler sur site. Des permis spéciaux (permis d'environnement) pour les nuisances éventuelles produites sont également à prévoir et tendent parfois à rallonger les délais. Au regard du contexte bruxellois et de l'échelle relativement réduite des projets étudiés, nous ne retiendrons pas ce paramètre dans notre évaluation.

3. Possibilités hors site

Filières (21)

La question de l'adéquation entre offre et demande est tout autant primordiale que dans le cas du réemploi: quelles finalités pour le matériau recyclé, quel gisement pouvant justifier la mise en place d'une filière ? De plus, comme dans le cas de valorisation précédent, ce n'est pas parce qu'un matériau peut être recyclable qu'il sera forcément recyclé! Le potentiel est existant, mais sa valorisation effective dépendra du marché, des filières, de son état... Nous avons considéré ce paramètre comme comptabilisant puisqu'il est complémentaire au paramètre questionnant la possibilité théorique de recyclage (voir ci-dessus). Pour certains flux, les filières de recyclage sont déjà bien installées et effectives, c'est le cas des inertes par exemple. Dans ce cas, le score obtenu sera maximal. Pour d'autres, les possibilités réelles de recyclage sont en cours de développement (ex:certains isolants), en recherche, ou ne sont valables que sur les sites de production. Dans ce dernier cas, il existe un recyclage effectif, mais il ne concerne que les chutes de production. L'adaptation aux déchets issus de chantiers (moins « purs ») est plus difficilement applicable soit pour des raisons techniques, soit parce que la quantité de déchets de ce type n'est pas suffisamment critique pour justifier le développement de la filière. Dans ce cas, le score obtenu est moyen (0,5). Enfin, il se peut que les filières de recyclage, même sur le site de production, n'existent pas du tout. Le score est alors nul.

Collecte sélective

Un autre problème rencontré est de savoir si un système de collecte sélective approprié est organisé pour reprendre les fractions triées sur chantier. En effet, l'effort consenti au tri à la source (souvent sous forme de petits sacs remplis et stockés dans l'attente de l'évacuation) est parfois anéanti par le système de collecte utilisé: les matières séparées initialement (lors de leur production) sont souvent mélangées dans le conteneur avant d'être acheminées vers les centres de tri. Cette pratique semble représenter une perte d'énergie et de temps. Dans certains cas, une meilleure infor-

mation et sensibilisation des entrepreneurs (et de leurs ouvriers) sur les possibilités de collecte sélective existantes encouragerait les pratiques en ce sens. Comme dans de cas du réemploi, nous ne considérerons pas ce paramètre dans notre évaluation.

Coûts

Le premier coût a évaluer est relatif à la collecte des différentes fractions. Ces coûts varieront selon les types de contenants envisagés et la nature plus ou moins « pure » des fractions (si mélangé ou trié à la source). Ensuite, pour que les matières premières secondaires issues du recyclage soient utilisées dans les processus de fabrication, leur prix d'achat doit pouvoir être plus attractif que celui d'une matière première équivalente. Une autre alternative est que la législation impose un quota minimum de matière recyclée dans les matériaux et/ou qu'elle incite les MO et architectes à choisir des matériaux à base de matières recyclées. Le paramètre coûts pour le recyclage n'a pas non plus été pris en compte dans l'évaluation pour les mêmes raisons que celles énoncées au réemploi.

Compostage (22)

Par *compostage*, nous entendons un processus de « biodégradation avec valorisation ». En effet, les matières qui sont « biodégradées » peuvent présenter plusieurs formes de valorisation: le produit final concerne la production de compost (terre enrichie utilisée notamment comme « engrais »), mais le processus de biodégradation produit également des biogaz (principalement du méthane et du dioxyde de carbone) valorisables sous forme de chaleur et/ou d'électricité. Ce degré de valorisation est à envisager dans le cas où les degrés de valorisation précédents ne peuvent être atteints. Ce cas de valorisation est toutefois rarement envisageable concernant les matériaux de construction. Le seul paramètre comptabilisé pour ce degré de valorisation concerne la capacité « théorique » d'une matière à être biodégradée. Nous n'avons à l'heure actuelle pas tenu compte de l'effet de certains composants et additifs à ces matériaux. Par exemple, pour le bois et pour la cellulose, nous avons considéré que ces matériaux sont dans leur nature biodégradables sans considérer l'impact de leurs additifs éventuels sur les aspects environnementaux et sanitaires. Nous n'avons à l'heure actuelle pas suffisamment de connaissance en la matière. Notons également une exception dans le cas de la paroi *F.exist++*: la couche de finition réalisée à base d'argile (agrémentée d'un peu de paille) n'est théoriquement pas biodégradable, mais elle peut rejoindre, sans effets néfastes, la composition des sols. C'est pourquoi nous l'avons comptabilisée selon un score maximal.

Incinération (23)

Par *incinération*, nous entendons la « valorisation énergétique » sous-tendue. Pour évaluer ce paramètre, nous nous sommes basés sur le pouvoir calorifique des différents matériaux. Le pouvoir calorifique correspond à la quantité maximale de chaleur

pouvant être dégagée par la combustion complète d'une unité de masse d'une certaine matière[8]. Ainsi, pour attribuer un point aux différentes matières dans la comptabilisation de ce paramètre, nous les avons classées selon trois échelles différentes: les non-incinérables (ex: inertes) présentent un score nul, les matières au pouvoir calorifique supérieur (PCS) plus petit que 20 MJ/kg[9] présentent un score moyen et les matières au PCS plus grand que 20 MJ/kg possèdent un score maximal.

Le tableau et la figure ci-après reprennent la synthèse de l'ensemble de ces paramètres structurés selon le cycle de vie du bâtiment et des liens et interactions qui les unissent.

Tableau 4.9: Synthèse des paramètres influant sur les 5 degrés de valorisation

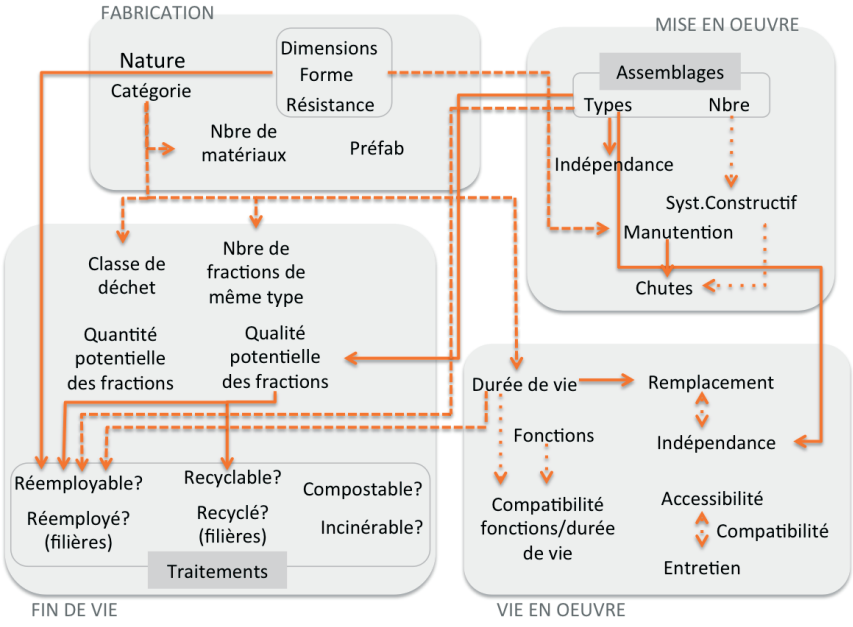
	(1) Potentiel de Prévention	(2) Potentiel de Réemploi	(3) Potentiel de Recyclage	(4) Potentiel Compostage	(5) Potentiel Incinération
A. FAB	2. forme 3. dimension/ échelle/modularité 4. masse volumique 5. résistance aux usages répétés	2. forme 3. dimension/ échelle/modularité 5. résistance aux usages répétés	1. nature	-	-
B. MEO	6. préfabrication 9. simplicité du système constructif	7. types d'assemblages 8. nombre d'assemblage 9. simplicité du système constructif	-	-	-
C. VEO	11. remplacement 12. indépendance entre couches 13. accessibilité des connexions 14. compatibilité durée de vie//situation dans layer 15. entretien maintenance	10. durée de vie 12. indépendance entre couches 13. accessibilité des connexions	12. indépendance entre couches		

8 - Le pouvoir calorifique supérieur exprimé en MJ/kg exact d'un matériau peut être obtenu suivant la norme EN ISO 1716.

9 - Ce montant de référence a été choisi en considérant le cas des matériaux de construction. Il ne concerne donc pas toutes les substances combustibles (gaz, fioul,...) aux PCS beaucoup plus élevés.

	(1) Potentiel de Prévention	(2) Potentiel de Réemploi	(3) Potentiel de Recyclage	(4) Potentiel Compostage	(5) Potentiel Incinération
D. FDV	16. nombre de fractions de catégorie différentes 17. qualité potentielle des fractions	16. nombre de fractions de catégorie différentes 17. qualité potentielle des fractions 18. adapté au réemploi (réemployable?) 19. filières (réemployé?)	16. nombre de fractions de catégories différentes 17. qualité potentielle des fractions 20. recyclable? 21. filières (recyclé?)	22.Compostable (ou biodégradable)? avec valorisation	23. incinérable (ou combustible)? avec valorisation
Total	**13 paramètres**	**13 paramètres**	**6 paramètres**	**1 paramètre**	**1 paramètre**

Figure 4.5: Schématisation des liens et influences entre paramètres d'évaluation



4.3.3. Échelles considérées

Sur base de l'approche de décomposition du bâtiment proposée en partie 3, nous avons considéré trois échelles d'analyse: matériau, layer (extérieur, structurel, intérieur) et paroi. Ces différentes échelles n'offrent pas systématiquement de réponses à chacun des paramètres étudiés. Ainsi il existe de nombreux paramètres qui sont en rapport avec les spécificités du matériau (dimensions, formes, nature...) et d'autres qui dépendront du type de mise en oeuvre et donc, qui considèrent l'échelle de la paroi ou éventuellement du layer. De manière globale, l'échelle matériau est la plus couramment utilisée puisqu'étant le constituant de base de la paroi. Les résultats par matériau sont ensuite additionnés pour obtenir le score de la paroi. Nous détaillerons la méthode de comptabilisation ci-après.

4.3.4. Unités considérées

Dans la partie 3 de cet ouvrage relative aux bilans métaboliques de matière, nous avons pu observer l'intérêt d'étudier deux unités différentes selon le poids et le volume des matières constituant le bâtiment. Dans la même démarche, nous souhaitons également analyser ces deux types de mesure dans l'évaluation de la v*alorisabilité* des parois, mais celles-ci seront ici ramenées par mètre carré de surface. La considération de l'unité de poids par unité de surface (kg/m^2) nous permet de confronter l'évaluation qualitative ici traitée avec l'évaluation environnementale quantitative traitée dans le chapitre suivant. En effet, les écobilans se basent également sur le poids des matériaux pour l'analyse d'impact. L'avantage que représente l'étude du volume par unité de surface (m^3/m^2) est d'identifier les éventuelles variations entre les deux unités traitées. En effet, nous avons observé dans les bilans de matières de la partie précédente que la considération unique de l'unité de poids dévaluait fortement certains matériaux pourtant présents de manière significative dans le bâtiment. Nous réitérons donc l'approche puisqu'elle nous permet de relativiser certains résultats obtenus et nous rappelons de la sorte l'importance de la complémentarité de ces deux mesures.

4.3.5. Méthodologie d'évaluation

Système de comptabilisation

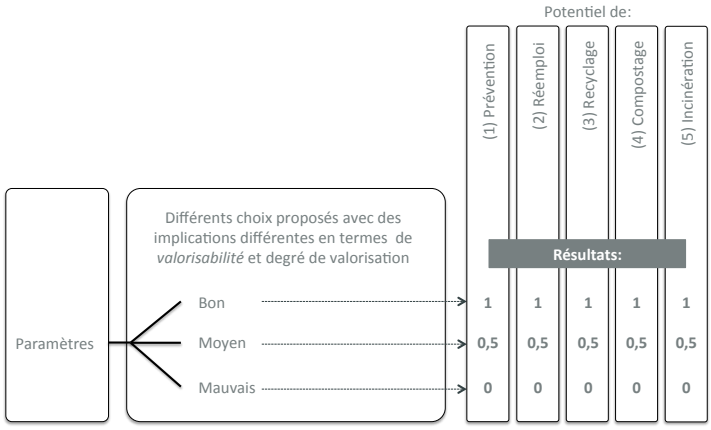
La méthode développée pour proposer une évaluation de la *valorisabilité* des parois est appliquée comme suit.

1. Nous avons d'abord sélectionné les paramètres retenus pour l'évaluation. Ces derniers ont été choisis selon l'influence directe (parfois indirecte) qu'ils peuvent opérer sur un ou plusieurs des degrés de valorisation visés et selon leur caractère « mesurable ». En effet, certains paramètres dépendent de situations concrètes

propres et variables d'un chantier à un autre (possibilité de tri, espace de stockage, quantité des fractions, coûts, possibilités de valorisation in situ, systèmes de collecte...). Ils sont donc difficilement « évaluables ». Nous les avons donc volontairement écartés. D'autres paramètres encore n'ont en soit qu'une valeur « informative », c'est-à-dire qu'ils n'ont pas d'impact direct réel identifié (ex: position dans layer), mais ils peuvent être impactants dans le bilan suivant une combinaison de facteurs. Enfin, certains paramètres informatifs peuvent être considérés comme compléments à l'évaluation (performances environnementales/thermiques, matières premières) afin d'élargir l'interprétation des résultats.

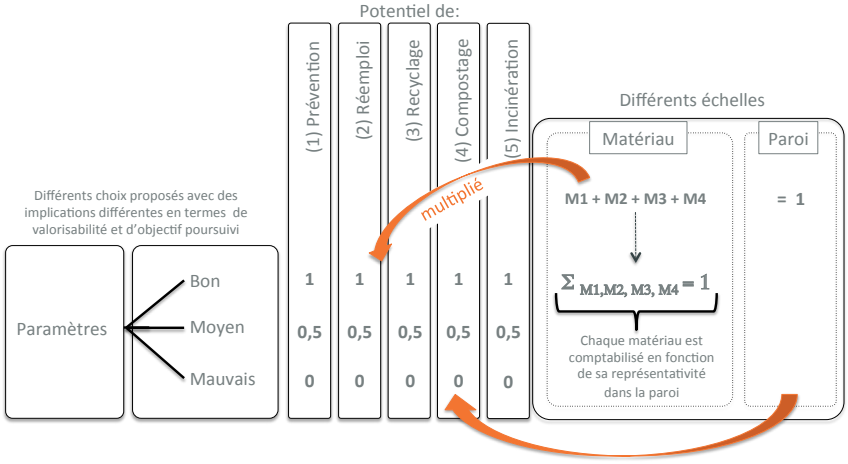
2. Pour chaque paramètre défini, plusieurs propositions sont formulées. Ces propositions sont jugées comme étant « bonnes », « moyennes » ou « mauvaises », c'est-à-dire comme ayant un impact positif, moyen ou nul (voire négatif) sur le degré de valorisation concerné. Trois valeurs distinctes (ou points) sont conférées à ces propositions telles que présentées ci-dessous:

Figure 4.6: Points attribués aux différentes propositions relatives au paramètre



3. Ensuite, pour attribuer au paramètre un résultat en fonction d'une paroi spécifique, les composantes de cette paroi doivent être multipliées par la valeur attachée à la proposition choisie. Or, pour chaque composante de l'enveloppe, les solutions de parois proposées présentent une même performance thermique, mais pas d'épaisseur de paroi équivalente ni même de composition équivalente. Dès lors, nous avons opté pour l'évaluation des parois sur base de la proportion et de la répartition de chaque matière constituante et de la ramener par mètre carré de paroi. Ainsi, la somme des matières formant la paroi correspond à 1 et le score maximal pouvant être obtenu par paramètre est donc également de 1. La manière de procéder est illustrée dans le schéma ci-dessous:

Figure 4.7: Comptabilisation selon la proportion des différents matériaux constituants de la paroi



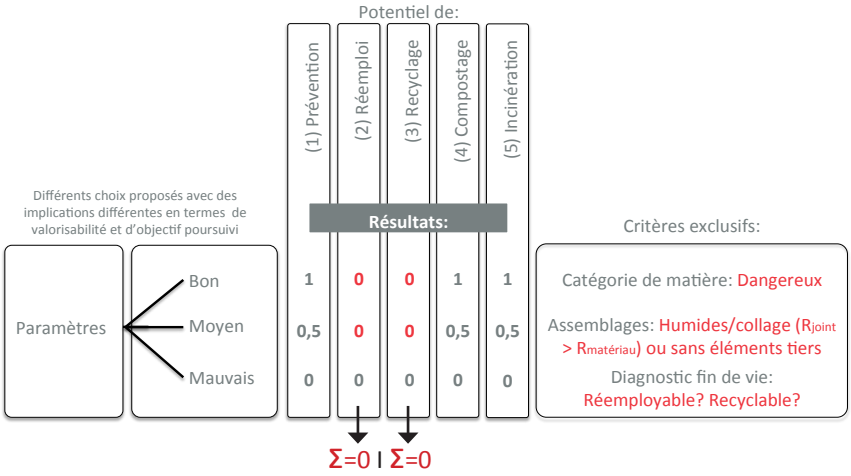
4. Pour obtenir un bilan par degré de valorisation, nous avons effectué la somme de l'ensemble des résultats des paramètres liés au degré considéré. Afin que ces résultats soient comparables entre parois, nous les avons ramenés à un rapport de 1 en les divisant par le score maximal pouvant être obtenu. Les résultats sont présentés sous forme de pourcentages

Critères exclusifs et exceptions

Dans certains cas, des critères d'exclusion ou des exceptions sont introduits dans le système de comptabilisation.

Les **critères d'exclusion** sont appliqués dans le cas où des caractéristiques liées au matériau ou au mode d'assemblage annulent le caractère potentiellement valorisable des matières sur l'ensemble des paramètres d'influence. Ces critères exclusifs s'appliquent principalement aux potentiels de réemploi et de recyclage. Concernant le potentiel de réemploi, les critères d'exclusion reprennent essentiellement: les matériaux dangereux (classe 1), les systèmes d'assemblage de type irréversible ou entraînant la démolition des éléments (collage, $R_{joint}>R_{matériau}$, solidarisation sans éléments tiers), l'incapacité du matériau à être réemployé. Concernant le potentiel de recyclage, les critères d'exclusion sont moins nombreux puisqu'ils concernent essentiellement le caractère dangereux du matériau et sa capacité à être recyclé. La figure ci-dessous illustre de manière schématique l'utilisation du critère d'exclusion tel que proposé.

Figure 4.8: Application des critères d'exclusion dans la méthode de comptabilisation



Concernant les **exceptions**, elles visent à atténuer une pénalité excessive liée à la définition du paramètre et de ses propositions pour certains matériaux et dans le cas du potentiel de recyclage essentiellement. Deux paramètres sont surtout visés par cette mesure: l'*indépendance entre couches* (qui est fonction du type d'assemblage) et la *qualité potentielle des fractions* (qui est aussi fonction du type d'assemblage). La pénalité excessive provient du fait qu'une matière, pour être recyclée, peut aussi bien être démolie que démontée. Cependant, la démolition entraîne un plus grand risque de mélange entre matières et réduit donc potentiellement la qualité des fractions. Ce que l'outil d'évaluation n'a pas intégré dans la définition de ses paramètres c'est que si les matières démolies sont de même catégorie et que le système de recyclage actuel permet un degré d'impureté raisonnable[10], cette matière peut ne pas être pénalisée par son type d'assemblage initial. Or, même si ce paramètre n'est pas repris tel quel dans l'évaluation du potentiel de recyclage, il impacte directement les paramètres d'*indépendance entre couches* et de *qualité potentielle des fractions* préalablement cités et repris dans le potentiel de recyclage. Ainsi, pour ces matières (démolies, de même catégorie et au taux d'impureté raisonnable pour le recyclage), et uniquement pour les deux paramètres concernés, nous retiendrons le score maximum (applicable à leur proportion uniquement).

10 - Nous faisons entre autre référence aux inertes, notamment aux briques maçonnées avec du mortier au ciment: impossibles à démonter elles présentent néanmoins un potentiel de recyclage certain. Or, encodées telles quelles dans l'outil d'évaluation, elles présentent un mauvais résultat pour les deux paramètres cités ci-dessus et ces derniers influencent directement le bilan global en termes de recyclabilité.

Limites de la méthode proposée

Une des limites de la méthode d'évaluation proposée est que nous avons considéré par défaut le même poids pour chacun des paramètres. Pourtant, certains paramètres apparaissent comme possiblement plus impactants que d'autres dans l'évaluation du potentiel de valorisation, par exemple le type d'assemblage utilisé. Parmi les références de recherches menées sur cette problématique qu'est l'évaluation de la valorisation potentielle des parois, nombreuses sont celles qui proposent une pondération différenciée des critères, soit sur base d'enquêtes menées auprès des acteurs du secteur [PADUART, 2012] soit sur base d'une proposition de l'auteur [NORDBY, 2009]. Nous avons souhaité garder une certaine neutralité pour éviter d'accroître la subjectivité des résultats obtenus. Il serait néanmoins intéressant de se questionner sur l'impact relatif de chacun de ces paramètres. Comme nous l'avons fait dans le cas des critères d'exclusion ou des exceptions, un facteur de « correction » pourrait alors tout à fait être appliqué pour rétablir une nouvelle pondération des paramètres. Notons toutefois qu'au vu de l'influence directe du paramètre *type d'assemblage* sur les paramètres *indépendances entre couches* et *qualité potentielle des fractions*, ce paramètre pourrait être interprété comme ayant plus de poids dans le bilan. La méthode de pondération des paramètres pour l'évaluation pourrait constituer l'objet d'une recherche en soi.

Ensuite, une autre limite de l'approche est la considération de situations « favorisantes » ou « optimistes » pour quelques matériaux influençant de la sorte certains types de résultats. En effet, pour les matériaux en bois plein par exemple, nous avons considéré qu'ils pouvaient être recyclés dans leur entièreté (concernant le paramètre *recyclable*). Cela signifie, selon les filières de recyclage actuelles, que ces bois ne peuvent logiquement pas être traités, ce qui n'est aujourd'hui pas le cas de la majorité des bois de construction. Un autre exemple concerne la cellulose: cette matière est considérée comme « compostable » de par son caractère biodégradable. Elle influence donc positivement le potentiel de compostage, qui constitue un retour au cycle biologique, et ce, sans tenir compte des impacts environnementaux et sanitaires éventuels[11] des additifs contenus dans ce matériau (sel de bore principalement). De la même manière que pour la cellulose, les bois et éléments majoritairement à base de bois sont également considérés dans le potentiel de compostage alors qu'ils peuvent, eux aussi, potentiellement contenir des substances « nocives ».

Enfin, le retravail de certains résultats par l'application de critères d'exclusion et/ou de mesures d'exception accroît le potentiel d'erreur. À l'avenir, si de nouveaux facteurs de correction (notamment de pondération des paramètres) venaient à s'ajouter en grande quantité, sans doute la méthode initialement développée devrait être amenée à évoluer avec cette nouvelle complexité.

11 - Ces impacts sont, à notre connaissance, non connus actuellement.

4.3.6 Évaluation de la *valorisabilité* des parois types: résultats

Pour chaque composante, les résultats sont présentés sous forme de pourcentage pour les cinq degrés de valorisation, d'abord en considérant le volume ensuite en considérant le poids. Nous avons expliqué précédemment la raison d'utiliser cette double unité dans les évaluations.

Comme ce sera le cas également dans l'évaluation environnementale, la situation existante est évaluée et représentée dans les graphes comme « valeur référence ». Elle est à considérer principalement à titre informatif et est différenciée dans sa représentation des autres résultats (bâtonnet blanc pour la *valorisabilité* et bâtonnet gris clair pour l'écobilan). Cette démarche permet de rendre compte du potentiel de valorisation préexistant et de pouvoir le comparer avec le potentiel de valorisation des parois projetées (après rénovation). L'approche a entre autres été élaborée dans le but d'identifier l'influence de l'intervention de rénovation sur ce potentiel: est-il réduit, annulé, équivalent ou amélioré ? Dans le cadre de la représentation du bâtiment comme gisement de matière telle que proposée dans cette thèse, nous pourrions avancer que les parois améliorées devraient au minimum proposer un résultat équivalent (à 5% près) aux parois initiales existantes. Si tel n'est pas le cas, un système de « compensation » pourrait éventuellement être envisagé. Le développement d'un tel système ne fait pas l'objet de cette étude, mais pourrait à l'avenir constituer une piste de réflexion par rapport à des interventions pénalisantes en termes de matières à valoriser.

Une difficulté rencontrée dans l'évaluation des parois projetées est de pouvoir rendre compte de la « valeur » de la matière en présence contenue dans la paroi existante et de l'impact de sa démolition éventuelle préalable. En effet, l'évaluation est réalisée sur des parois dites « types » et les paramètres développés et retenus sont d'ordre générique. Ils ne tiennent compte ni des spécificités de la situation in situ, ni du mode d'intervention préalable à la paroi type envisagée (démolition, déconstruction...). Pour pallier ce manque, nous avons représenté en trait tillé sur les graphes l'impact potentiel de la démolition préalable selon l'objectif de valorisation considéré. Ainsi, une paroi type neuve peut présenter un bon score en terme de prévention alors qu'elle a nécessité la démolition préalable de la paroi existante. Nous proposons donc de nuancer les résultats de cette paroi en figurant l'impact négatif de la démolition sur l'objectif de prévention. Par contre, les matières démolies présentent aussi un potentiel de réemploi/recyclage/compostage/incinération. Dans la même logique que celle précédemment proposée pour la prévention, ce potentiel devrait être ajouté au potentiel des parois types envisageant la démolition[12]. Pour estimer le potentiel lié aux matières démolies, que nous appellerons aussi **facteur de**

12 - Cette approche pourrait rejoindre l'idée d'un système de compensation brièvement évoqué ci-dessus: si la paroi existante est démolie au profit d'une nouvelle paroi, une garantie devrait être apportée quant à la valorisation maximale des matières démolies.

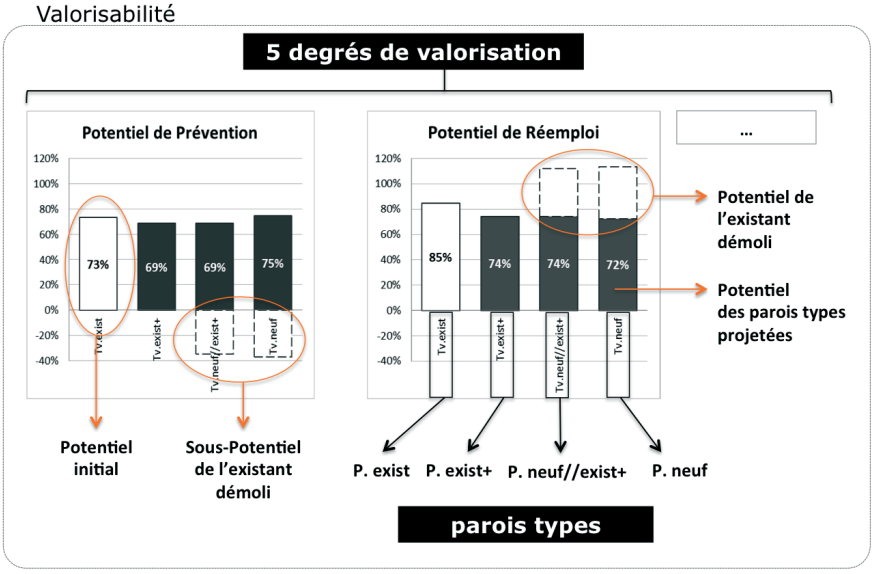
correction et qui sera ajouté ou enlevé du potentiel des parois projetées, nous avons procédé comme suit:

Facteur de correction proposé:

$$\text{potentiel ajouté (\%)} = \frac{\text{potentiel}_{exist} \times e_{exist}}{(\text{potentiel}_{exist} \times e_{exist}) + e_{projeté}}$$

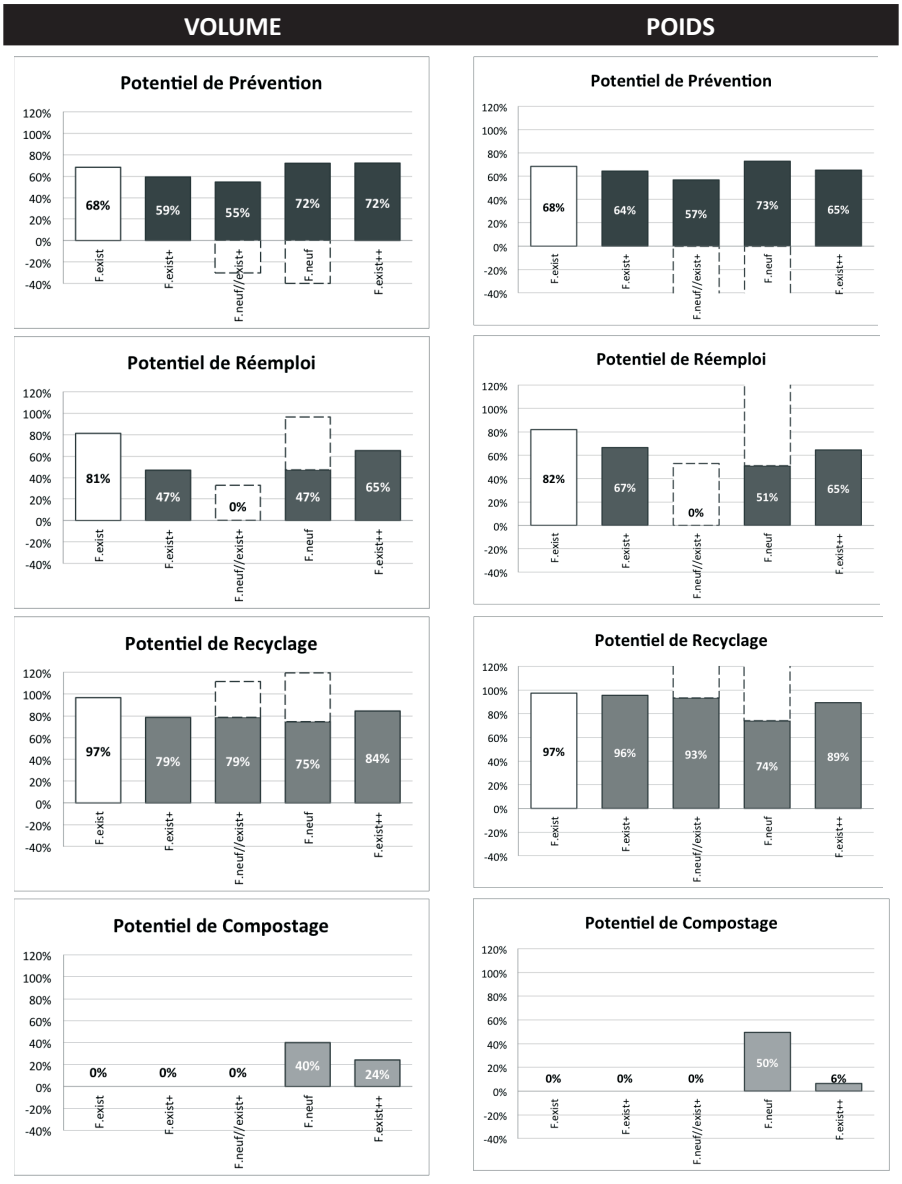
Attention aux dérives que peut aussi avoir l'interprétation des résultats soumis au facteur correctif. En effet, en augmentant le potentiel de valorisation (autre que pour la prévention) des éléments démolis et reconstruits, ces derniers dépassent de loin en général le potentiel des parois conservées et améliorées. Ce potentiel de valorisabilité accru pourrait être utilisé comme « excuse » pour justifier une position pour une démolition/reconstruction plutôt qu'une conservation. Nous rappelons donc l'importance de la hiérarchie de valorisation, les différents degrés d'évaluation doivent être interprétés selon leur degré de priorité. En général, les parois démolies et reconstruites soumises au facteur de correction sont peu « performantes » en termes de prévention, pourtant en premier lieu sur l'échelle d'action.
Le mode de lecture des résultats de valorisabilité est repris de la manière suivante dans les graphiques:

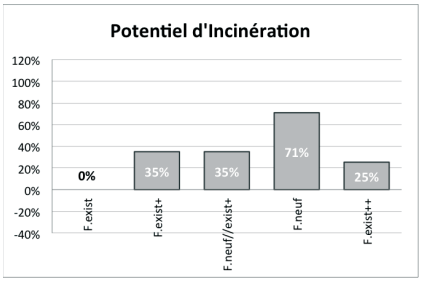
Figure 4. 9: Mode de lecture des graphiques de *valorisabilité*

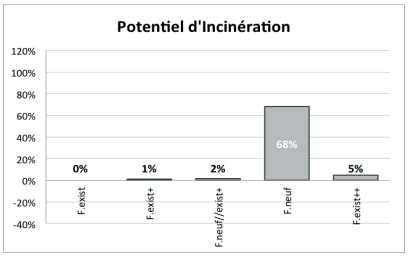


Façades

Figure 4.10: Valorisabilité Façade
(considérant l'unité de volume à gauche et de poids à droite)







1. Potentiel de prévention

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)[13]

Les principaux paramètres influençant la variabilité des résultats entre les différentes solutions de parois types projetées concernent les possibilités de *préfabrication* (possibles dans le cas des structures et contrestructure bois), l'*indépendance entre couches* (faible à nulle dans les deux premiers cas) et l'*accessibilité des connexions*. Notons également l'importance du paramètre *forme* particulièrement dans le cas de *F.neuf* et *F.exist++*. En effet, la cellulose utilisée en vrac dans ces parois représente respectivement 48 et 34% du volume par mètre carré de surface. Ce matériau joue dans ce cas un rôle important dans le résultat de ce paramètre. Un point d'attention particulier est également porté à la paroi *F.neuf* concernant le paramètre *compatibilité entre durée de vie et situation dans layer*. Effectivement, la cellulose présente en grande quantité (48%) possède une durée de vie inférieure (30 ans) à celle attendue pour la structure dans laquelle elle est placée (50 ans). Cela signifie que pour la remplacer il faut préalablement enlever les layers intérieurs ou extérieurs, ce qui engendrerait une production supplémentaire de déchet. Notons que si aucune dégradation (insectes, humidité, moisissure...) n'est identifiée, nous émettons des doutes sur le remplacement effectif de cet isolant au bout de 30 ans. Nous n'avons cependant pas de données sur la garantie des performances thermiques du matériau sur des périodes supérieures ou égales à 50 ans.

Dans les paramètres non comptabilisés, mais qui pourraient avoir un impact en termes de potentiel de prévention, citons l'utilisation de matières recyclées comme matières premières dans la fabrication des matériaux. Ainsi, pour les parois *F.neuf* et *F.exist++,* qui contiennent une part relativement importante (en volume) de cellulose et de panneaux OSB à base de matières recyclées (respectivement papier et bois), ce type de paramètre pourrait s'avérer important.

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de prévention existant est estimé à 68%. Ce résultat est identique aussi

13 - Tous les tableaux de résultats par degré de valorisation sont présentés en annexe.

bien pour le volume que pour le poids par mètre carré de paroi. De manière générale et sans considérer l'application du facteur de correction, les parois projetées présentent des résultats relativement similaires au potentiel de base (existant) avec des variations entre 55 et 72% pour le volume et 57 et 73% pour le poids. La paroi *F.neuf//exist+* est celle qui propose dans les deux cas de mesure des résultats inférieurs de plus de 5% au résultat initial (existant). *F.exist+* est également pénalisé dans le cas du bilan de volume (-9%).

Différence entre volume et poids

Les résultats montrent peu de variations entre les résultats. Dans le cas des trois premières parois projetées (*F.exist+*, *F.neuf//exist+* et *F.neuf*) les données en poids sont plus intéressantes de quelques pourcents (+1 à +5%). Seule la paroi *F.exist++* perd 7% dans la conversion en poids.

Classement des parois

Tableau 4.10: Potentiel de prévention de la façade: classement des parois

Parois		F.exist+	F.neuf//exist+	F.neuf	F.exist++
NC	V	2	3	1	1
	P	3	4	1	2
C	V	2	4	3	1
	P	2	3	4	1

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Sans l'application du facteur correctif, la solution *F.neuf* est la plus intéressante dans les deux bilans suivie par la solution d'amélioration *F.exist++*. *F. exist+* occupe l'avant-dernière place avant *F.neuf//exist+.*

Le facteur de correction appliqué respectivement pour le volume et pour le poids est de -30% et -50% pour *F.neuf//Exist+* et de -45% et -88% pour *F.neuf*. Le classement propose alors en tête la solution *F.exist++* suivie par *F.exist+* pour les deux bilans réalisés. La troisième et la quatrième place varient entre *F.neuf//exist+* et *F.neuf* selon la mesure considérée.

2. Potentiel de réemploi

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Étant donné la nature des types d'assemblage utilisés, notons que la paroi *F.neuf// exist+* est soumise à la **règle des critères exclusifs** pour toutes ses couches constituantes (voir méthode de comptabilisation) et présente donc un bilan nul par rapport au réemploi. En ce qui concerne les autres parois projetées, elles diffèrent principalement en ce qui concerne les paramètres *dimensions/échelle/modularité*, *masse volumique*, *accessibilité des connexions* et *adaptabilité au réemploi*. Pour ce dernier paramètre, notons que la règle des critères exclusifs est encore utilisée

puisque les couches de crépi sur isolant qui représentent respectivement 36% et 26% dans *F.exist+* et *F.neuf* sont considérées comme non adaptées au réemploi. En ce qui concerne l'*indépendance entre couches*, elle est en général meilleure pour les solutions en structure bois (*F.neuf*, *F.exist++*). Quant au paramètre *assemblage*, nous observons que les *types d'assemblage* employés dans les parois *F.neuf* et *F.exist++* (à base de bois) ont un bilan beaucoup plus intéressant que dans les autres parois. Cependant, cette tendance tend à s'inverser dans le cas du *nombre d'assemblages*: plus important pour les deux dernières solutions d'amélioration. Les *filières de réemploi* sont quant à elles plus développées dans le cas des maçonneries existantes en brique de terre cuite pleine (*F.exist+* et *F.exist++*) que dans le cas de la paroi neuve en structure bois.

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de réemploi de la paroi existante est estimé à 81% pour le volume et 82% pour le poids, soit des résultats relativement proches. Quelles positions occupent les différentes parois projetées par rapport à ce potentiel de base ? Sans considération du facteur de correction, les parois projetées sont relativement à la traîne comparativement au résultat initial puisqu'elles offrent des bilans allant de 0 à 65% pour le volume et de 0 à 67% pour le poids, soit entre 15 et 82% de différence. En considérant le facteur correctif, un potentiel s'ajoute aux parois démolies/reconstruites (*F.neuf//exist+* et *F.neuf*). Seul *F.neuf* présente alors un potentiel supérieur au potentiel existant.

Différence entre volume et poids

L'écart entre les résultats de volume et de poids est relativement faible exception faite de la paroi *F.exist+* qui diffère de 20% entre les deux bilans au profit de l'unité de poids. Cette caractéristique influence considérablement le classement des parois en termes de potentiel de réemploi présenté ci-après.

Classement des parois

Tableau 4.11: Potentiel de réemploi de la façade: classement des parois

Parois		F.exist+	F.neuf//exist+	F.neuf	F.exist++
NC	V	2	3	2	1
	P	1	4	3	2
C	V	3	4	1	2
	P	2	4	1	3

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Les tendances de classement divergent plus que dans le cas du potentiel de prévention sauf pour la paroi *F.neuf//exist+* qui possède un bilan nul dans tous les cas et qui se place donc en dernière position. Sans l'application du facteur correctif, les solutions de parois conservées et améliorées *F.exist+ et F.exist++* sont les plus inté-

ressantes.
Le facteur de correction appliqué respectivement pour le volume et pour le poids est de +33% et +53% pour *F.neuf//Exist+* et de +49% et +89% pour *F.neuf*. Dans ce cas, la paroi présentant le potentiel de réemploi le plus intéressant concerne *F.neuf* suivie par les deux solutions de conservation et amélioration de la paroi existante *F.exist+* et *F.exist++*.

3. Potentiel de recyclage

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)
De manière générale, les parois projetées présentent de bons résultats en termes de potentiel de recyclage et les différences de données sont peu marquantes entre les différentes parois. Notons toutefois que le **principe d'exception** a été appliqué pour le cas des briques en terre cuite (voir méthode de comptabilisation). Ce principe d'exception aura une répercussion principalement sur les paramètres *indépendance entre couches* et *qualité potentielle des flux*. Comme les briques représentent une part importante en volume et plus encore en poids des parois *F.exist+*, *F.neuf//exist+* et *F.exist++*, l'influence de ce matériau sur les résultats des paramètres précités est notable. *F.neuf* présentent quant à elle des couches de matières qui, en proportion, possèdent moins d'opportunités de recyclage. Ces dernières auront un impact sur les paramètres *recyclable* et *filières*. En ce qui concerne le *nombre de fractions de type différent*, *F.exist++* est la paroi qui présente le plus mauvais score puisqu'elle combine plusieurs matériaux de catégorie différente (inertes, bois, isolants, liants minéraux et dérivés, matières plastiques et dérivés, terre).

Par rapport au potentiel existant
Le potentiel de recyclage évalué pour la paroi existante est très élevé puisqu'il est de l'ordre de 97% aussi bien en volume qu'en poids. Dès lors, il apparaît peut-être difficile pour les parois projetées d'obtenir un tel score. Tout dépend en fait de l'unité de référence utilisée. En effet, dans le cas du bilan de volume, les résultats des parois projetées (sans considération du facteur correctif) sont entre 13% et 22% inférieurs au bilan de base. Par contre, en ce qui concerne l'unité de poids, les parois *F. exist+* et *F.neuf//exist+* présentent un bilan très proche (différence inférieure à 5%) du bilan existant. *F.exist++* propose des résultats 8% plus bas, et *F.neuf* est plus en retrait avec 23% de moins. Une fois le facteur de correction appliqué, les parois démolies et reconstruites bénéficient du potentiel de recyclage important des matières démolies et présentent donc des résultats bien supérieurs à ceux des autres parois y compris l'existante. Nous tenons à préciser que dans le cas des matériaux bois, nous avons considéré leur possible recyclabilité. Or, si ces derniers sont traités, leur recyclage est actuellement compromis. Le bilan ici présenté envisage donc la situation la plus favorable. Le traitement du bois (de structure, de support ou de parement) peut dans certains cas être dispensé. Le choix du type de bois et donc de son essence devra alors être opéré de façon judicieuse et appropriée en se basant sur la correspon-

dance entre la classe d'emploi et la classe de durabilité naturelle[14].

Différence entre volume et poids

Les différences de résultats entre les unités de volume et de poids sont pour ce degré de valorisabilité relativement importantes en ce qui concerne les deux premières parois *F.exist+* et *F.neuf//exist+*: les données sont de 14 à 17% plus élevées dans le bilan de poids. Ce phénomène peut s'expliquer par la forte disparité de masses volumiques des matériaux contenus dans la paroi. En effet, l'isolant en polystyrène expansé utilisé dans les deux premières parois constitue 35% en volume alors qu'il ne représente que 1 à 1,5% en poids. Les inertes, quant à eux, présentent 61% en volume et entre 92 et 95% en poids. Or, ils possèdent un potentiel de recyclage particulièrement conséquent. Ces deux caractéristiques (représentativité et possibilité de recyclage) renforcent le potentiel de recyclage relatif au poids de *F.exist+* et *F.neuf// exist+* . La différence entre résultats de volume et de poids est par contre minime dans le cas des deux autres parois (entre -1% et +5%).

Classement des parois

Tableau 4.12: Potentiel de recyclage de la façade: classement des parois

Parois		F.exist+	F.neuf//exist+	F.neuf	F.exist++
NC	V	2	2	3	1
	P	1	2	4	3
C	V	4	1	2	3
	P	3	2	1	4

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

En ce qui concerne l'unité de volume, et sans le facteur de correction, la paroi la plus intéressante concerne *F.exist++* suivie par la paire *F.exist+* et *F.neuf//exist+* à égalité. Pour le bilan considérant le poids, le classement est fort différent puisque *F. exist++* arrive en troisième position après les deux premières parois. *F.neuf* présente le moins bon résultat pour les deux bilans. Nous retenons donc qu'aussi bien pour le volume que pour le poids, les parois conservées et améliorées sont celles qui possèdent le potentiel de recyclage le plus élevé. Volume et poids confondus, c'est *F.exist+* qui arrive en tête avant *F.neuf//exist+* et *F.exist++* qui présentent une moyenne équivalente.

Si le facteur de correction est appliqué, quelle que soit l'unité considérée, la première et la seconde place sont occupées par les deux parois démolies et reconstruites[15]. Les parois conservées et améliorées sont en troisième et quatrième position dont l'ordre s'inverse selon qu'il s'agit du bilan volume ou de poids.

14 - Les essences présentant une résistance suffisante permettant d'éviter certains traitement concernent principalement: le douglas, le mélèze, le pin, le chêne, le châtaignier, le robinier.
15 - Nous avons averti des risques d'une mauvaise interprétation de ces résultats précédemment lors de la définition du facteur de correction.

4. Potentiel de compostage

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de compostage existant étant nul, les parois projetées proposant des compositions en partie à base de matières organiques auront potentiellement plus de valeur en terme de décomposition organique et donc de retour vers un cycle biologique.

Différence entre volume et poids

Les deux premières parois projetées présentent un résultat négatif équivalent au bilan de l'existant. Concernant *F.neuf*, une différence de 10% en faveur de l'unité poids est observée alors que *F.exist++* propose un résultat inférieur de 18% pour l'unité de poids.

Classement des parois

Tableau 4.13: Potentiel de compostage de la façade: classement des parois

Parois		F.exist+	F.neuf//exist+	F.neuf	F.exist++
NC	V	-	-	1	2
	P	-	-	1	2
moyenne		-	-	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

La paroi *F.neuf* présente aussi bien pour le volume que le poids le meilleur résultat. Aucun facteur de correction n'est appliqué vu que le potentiel initial est nul.

5. Potentiel d'incinération

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel d'incinération existant étant nul, les parois projetées proposant des compositions comprenant des matières possédant un pouvoir calorifique minimum auront potentiellement plus de valeur en termes de valorisation énergétique.

Différence entre volume et poids

Les trois parois projetées possèdent donc dans leur composition une partie de matières incinérables. Ces matières concernent essentiellement le bois, mais également

les isolants. Ces isolants présentent des masses volumiques très faibles alors que leur volume peut parfois être important au sein de la paroi. La différence de résultat se fera donc surtout au profit de l'unité de volume. Ainsi pour les parois *F.exist+*, *F.neuf//exist+* et *F.exist++* l'écart entre le bilan volume et le bilan poids s'étale entre -20% et -34%. Pour *F.neuf*, composé essentiellement de matières incinérables (sauf finitions intérieure et extérieure) cet écart n'est que de 3% .

Classement des parois

Tableau 4.14: Potentiel d'incinération de la façade: classement de parois

Parois		F.exist+	F.neuf//exist+	F.neuf	F.exist++
NC	V	2	2	1	3
	P	4	3	1	2
moyenne		3	2,5	1	2,5

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

La paroi *F.neuf* présente aussi bien pour le volume que le poids le meilleur résultat suivi par *F.neuf//exist+* pour le volume et *F.exist++* pour le poids. *F.exist+* est en dernière position dans tous les cas. Aucun facteur de correction n'est appliqué vu que le potentiel initial est nul.

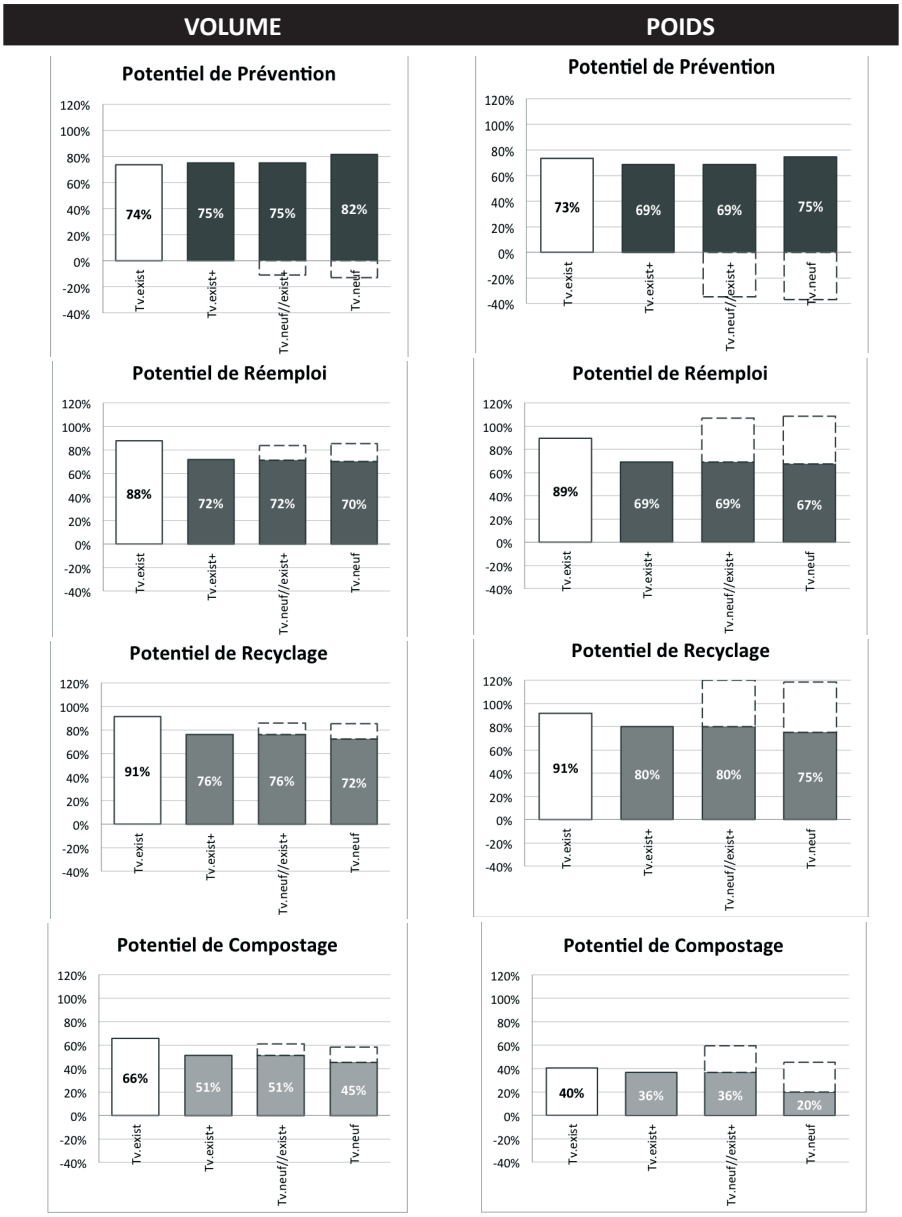
Potentiel global

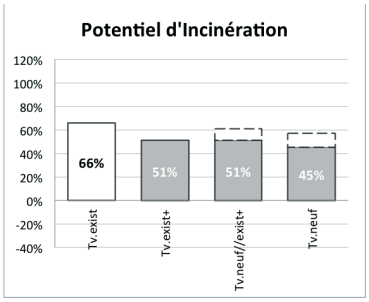
Globalement, si nous comparons les bilans pour le volume et le poids, les différences entre les cinq degrés de valorisation sont assez variables. Elles sont de l'ordre de quelques pourcents pour le potentiel de prévention (sauf 11% pour F.neuf) jusqu'à des variations de 20 à 30% pour le potentiel d'incinération. Les bilans considérant l'unité de poids proposent en règle générale des résultats supérieurs aux bilans de volume pour les potentiels de prévention, réemploi et recyclage. Cette tendance s'inverse pour les potentiels de compostage et d'incinération. Encore une fois, ces données s'expliquent par la composition de la paroi (types de matériaux) et la représentativité de chaque matériau au sein de cette dernière qui est fortement variable entre le volume et le poids.

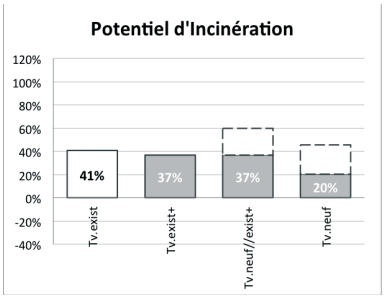
Concernant l'**unité de volume** et sans considération du facteur de correction, la paroi alternative *F.exist++* est la paroi la plus intéressante concernant les potentiels de prévention, de réemploi et de recyclage. *F.neuf* propose quant à elle le meilleur résultat en terme de potentiel de compostage et d'incinération. Concernant l'**unité de poids**, la tendance est autre puisque *F.neuf* propose le meilleur bilan concernant la prévention (notons toutefois que ce bilan revient à *F.exist++* une fois le facteur de correction appliqué). Concernant le potentiel de réemploi et de recyclage le plus intéressant, il revient à la paroi *F.exist+* (conservée et améliorée). Enfin, comme pour le bilan de volume repris ci-dessus, *F.neuf* est la paroi qui a le potentiel de compostage et d'incinération le plus avantageux.

Toitures à versant

Figure 4.11: Valorisabilité Toiture à versant
(considérant l'unité de volume et de poids)







1. Potentiel de prévention

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Nous l'avons déjà cité, le principal paramètre d'influence pour lequel une différence plus importante est remarquée entre les parois projetées concerne la *possibilité de préfabrication* qui a été considérée comme nulle pour *Tv.neuf//exist+* et *Tv.exist+ et* possible pour *Tv.neuf*. Ensuite, les paramètres pour lesquels les résultats sont les moins probants (toute paroi confondue), concernent la *résistance aux usages répétés*, la *fréquence de remplacement,* la *compatibilité entre durée de vie et situation dans layer,* et le *nombre de fractions de catégorie différente*. Effectivement, les parois améliorées contiennent une proportion importante (surtout en volume) de matériaux isolants (cellulose) qui apparaissent peu adaptés aux usages répétés. De même, la cellulose possède une durée de vie théoriquement bien inférieure à la durée de vie de la structure qui la contient, le remplacement est donc fréquent et non compatible avec la durée de vie attendue du layer dans lequel l'isolant est placé[16].

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel existant présente un résultat relativement similaire pour le volume et le poids (à 1% près). Sans l'application du facteur de correction, la différence avec le résultat des parois projetées est minime (de -1% à -4%). Les résultats dépassent même le bilan de potentiel initial dans le cas de *Tv.neuf*. Cela signifie qu'une paroi de ce type peut être plus intéressante en termes de prévention qu'une paroi dont la structure est similaire à *Tv.exist* (comme c'est le cas pour *Tv.exist+* et *Tv.neuf// exist+*). Attention, au regard des résultats ici commentés, notons que le paramètre d'influence qui diffère le plus concerne la *possibilité de préfabrication*. En effet, nous avons considéré une possible préfabrication dans le cas de *Tv.neuf* qui explique en grande partie le résultat supérieur de cette paroi par rapport aux autres parois types projetées.

Après application du facteur de correction, les différences des parois projetées avec

16 - Nous avons déjà émis certaines réserves (concernant la composante façade) quant au remplacement effectif de l'isolant contenu dans les structures bois.

le potentiel existant sont plus importantes, spécialement pour les parois démolies et reconstruites et surtout dans le cas de l'unité de poids (la différence peut aller jusque -39%).

Différence entre volume et poids

Elle est faible puisqu'elle varie entre 4 et 7% pour les parois projetées dans le cas où le facteur de correction n'est pas appliqué. Si ce facteur est appliqué, la différence va jusqu'à -30% (du bilan de volume vers celui de poids) pour les parois démolies et reconstruites.

Classement des parois

Tableau 4.15: Potentiel de prévention de la toiture à versant: classement des parois

Parois		Tv.exist+	Tv.neuf//exist+	Tv.neuf
NC	V	2	2	1
	P	2	2	1
C	V	1	3	2
	P	1	3	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Le classement des parois est identique entre le bilan volume et le bilan poids facteur correctif appliqué ou non. Sans le facteur, *Tv.neuf* occupe la première place, les deux autres parois présentent le même résultat (ils sont effectivement similaires en termes de composition et technique constructive puisque *Tv.neuf//exist+* est construit « à l'identique » de *Tv.exist+*). Avec le facteur de correction, c'est la paroi existante conservée et améliorée *Tv.exist+* qui présente le meilleur résultat avant *Tv.neuf* et enfin *Tv.neuf//exist+*.

2. Potentiel de réemploi

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

De manière générale, nous remarquons peu de différences de résultat par paramètre considéré entre les trois parois types projetées. En effet, les toitures à versant se composent essentiellement de structure bois dans laquelle est insufflée la cellulose, d'une couverture en tuile fixée sur un lattage et contrelattage en bois et de plaques de finition. La composition des différentes parois considérées varie donc très peu. C'est pourquoi les résultats apparaissent de manière relativement équivalente. Ainsi, nous retiendrons, non pas les variations de résultats entre parois, mais principalement les paramètres dont le résultat est peu intéressant pour les trois parois. Ces paramètres rejoignent en partie ceux énoncés dans le cas du potentiel de prévention, et reprennent: la *résistance aux usages répétés* (déjà discuté dans le cas du potentiel de prévention), le *nombre d'assemblages de type différent*, la *durée de vie* (déjà discuté dans le cas du potentiel de prévention), le *nombre de fractions de catégorie*

différente, l'*adaptabilité au réemploi* ou encore les *filières*. Concernant les structures en bois massif caractérisant *Tv.exist+* et *Tv.neuf//exist+*, des filières existent, mais ces structures ont une proportion relativement faible (en termes de volume). Les autres matériaux constitutifs éventuellement réemployables ne présentent à l'heure actuelle pas de filières de réemploi. Ensuite, concernant les assemblages, même si le type d'assemblage utilisé dans ces parois est relativement intéressant concernant leur démontabilité, le nombre de ces connexions est néanmoins accru et peut donc potentiellement compliquer le travail sur chantier ou le rallonger (d'où le résultat médiocre pour ce paramètre).

Par rapport au potentiel existant

Comme pour le potentiel de prévention, le potentiel existant présente un résultat relativement similaire pour le volume et le poids (à 1% près). Les parois projetées offrent des bilans de potentiel dans tous les cas inférieurs au potentiel initial (-17% en moyenne pour le volume et -21% en moyenne pour le poids), il y a donc perte de « valeur » par rapport à ce que nous offre l'existant en terme de réemploi (même si de manière globale les résultats sont plutôt intéressants). Notons toutefois que la cellulose, présente de façon significative en termes de volume, a été considérée comme éventuellement réemployable (résultat moyen). Ce choix a été opéré suite à des entretiens réalisés avec certains entrepreneurs dont l'activité est l'insufflation de cellulose: les cas de désinsufflation et réinsufflation de ce matériau sont rares, mais existent (exemple de réemploi). En considérant la cellulose comme éventuellement réemployable, nous avons voulu différencier ce matériau des autres matériaux isolants offrant pour la plupart des possibilités nulles de réemploi.

Différence entre volume et poids

Elle est extrêmement faible dans le cas où le facteur de correction n'est pas appliqué. Dans le cas où ce dernier est appliqué, la variation se produit pour les parois démolies et reconstruites au bénéfice du bilan poids: les matières démolies présentent en effet un volume réduit pour un poids plus conséquent (bois plein, tuiles en terre cuite).

Classement des parois

Tableau 4.16: Potentiel de réemploi de la toiture à versant: classement des parois

Parois		Tv.exist+	Tv.neuf//exist+	Tv.neuf
NC	V	1	1	2
	P	2	2	1
C	V	3	2	1
	P	3	2	1

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Le classement des parois diverge entre le bilan volume et le bilan poids: il est plus intéressant pour les deux premières solutions dans le cas du bilan volume (*Tv.exist+* et *Tv.neuf//exist+*) et il est plus intéressant pour *Tv.neuf* dans le cas du bilan poids. Une fois le facteur de correction appliqué, nous pouvons observer le même classement, peu importe l'unité considérée: les solutions de démolition/reconstruction (*T.neuf* et *Tv.neuf//exist+*) sont en général plus favorables que la solution de conserver et d'améliorer (*Tv.exist+*). Notons que, abstraction faite de la « correction » de résultats, le classement proposé ci-dessus est relatif puisque les potentiels de réemploi sont plutôt similaires entre les trois parois.

3. Potentiel de recyclage

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Encore une fois, peu de différences sont observées entre les résultats des parois par paramètre. Les paramètres pour lesquels les résultats sont moins intéressants concernent le *nombre de fractions de catégorie différente*, l'adaptabilité au recyclage (*recyclable*) et les *filières*. Comme pour le cas de la composante façade, nous avons envisagé la situation la plus favorable pour le bois c'est-à-dire qu'il est considéré comme recyclé avec la présence de filières existantes. Les tuiles en terre cuite sont également recyclées effectivement vu l'existence de filières de traitement. Les autres éléments potentiellement recyclables constituant les parois types de toiture à versant ne possèdent pas de filières de traitement des déchets provenant des chantiers. Cependant, ils font pour la plupart l'objet de recyclage sur le site de production (chutes réinjectées).

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel existant est relativement élevé et présente le même résultat en termes de volume ou de poids. Les données obtenues pour les parois projetées n'offrent pas d'équivalence avec le potentiel initial puisqu'elles sont systématiquement plus basses: de -11% (poids) à -19% en volume entre le bilan existant et *Tv.neuf*.

Différence entre volume et poids

De nouveau, contrairement aux bilans précédents, des variations de résultats plus conséquentes entre volume et poids apparaissent pour le potentiel de recyclage. L'explication provient encore une fois des proportions respectives des matériaux contenus dans la paroi et de leur propre bilan de recyclabilité: le bois massif et les tuiles plus lourds et « mieux recyclés », mais moins « volumineux » (en proportion) vont influencer de manière plus favorable le bilan considérant l'unité de poids.

Classement des parois

Tableau 4.17: Potentiel de réemploi de la toiture à versant: classement des parois

Parois		Tv.exist+	Tv.neuf//exist+	Tv.neuf
NC	V	1	1	2
	P	1	1	2
C	V	3	1	2
	P	3	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Aussi bien en termes de poids que de volume, la paroi conservée améliorée et la paroi démolie/reconstruite présentent le meilleur potentiel de recyclage (hors facteur correctif). Une fois le facteur de correction appliqué, c'est Tv.neuf//exist+ qui apparaît comme la solution la plus intéressante avant Tv.neuf qui occupe une deuxième position de manière stable.

4. Potentiel de compostage

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel existant diffère quelque peu entre l'unité de volume et de poids puisque pour le volume, le potentiel est 26% plus important que dans le bilan de poids. Comparativement au bilan initial, les parois projetées proposent des résultats inférieurs de -10 à -21% pour le volume et -4 à -20% pour le poids. Tous les matériaux ligneux sont repris ici comme compostables puisqu'ils on été considérés sans traitement. Concernant la cellulose, nous avons envisagé qu'elle représente une possibilité de compostage (résultat moyen). En effet, cette matière est biodégradable, mais nous ne connaissons pas l'effet de ses adjuvants comme le sel de bore sur la qualité des sols (infiltrations) notamment. Depuis quelques années, les restrictions sanitaires concernant cette substance et les avancées opérées dans la fabrication et la qualité de la cellulose ont permis de réduire considérablement sa quantité. Cette progression pourrait-elle continuer ? La réflexion porte surtout sur les proportions acceptables de ces adjuvants, aussi bien pour éviter de quelconques risques environnementaux ou sanitaires que pour garantir les performances du matériau (en termes de résistance au feu, à l'humidité, aux champignons).

Différence entre volume et poids

Bien qu'une différence soit observée entre les résultats en volume et en poids, l'ordre d'importance proposé est identique (voir classement ci-dessous). Les résultats sont moyens d'un point de vue volumique, ils sont plus faibles encore considérant le poids. Ils offrent cependant un meilleur potentiel que pour la composante façade présentée précédemment.

Classement des parois

Tableau 4. 18: Potentiel de compostage de la toiture à versant: classement des parois

Parois		Tv.exist+	Tv.neuf//exist+	Tv.neuf
NC	V	1	1	2
	P	1	1	2
C	V	3	1	2
	P	3	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Le classement des parois types analysées est identique entre le volume et le poids, mais l'ordre différera selon que le facteur de correction est appliqué ou pas. Cet ordre est par ailleurs le même que dans le cas du potentiel de recyclage, à savoir que les parois *Tv.exist+* et *Tv.neuf//exist+* occupent la première place dans le cas de figure non « corrigée » alors qu'uniquement *Tv.neuf//exist+* conserve sa première place une fois le facteur appliqué. *Tv.neuf* est en deuxième position dans tous les cas de figure.

5. Potentiel d'incinération

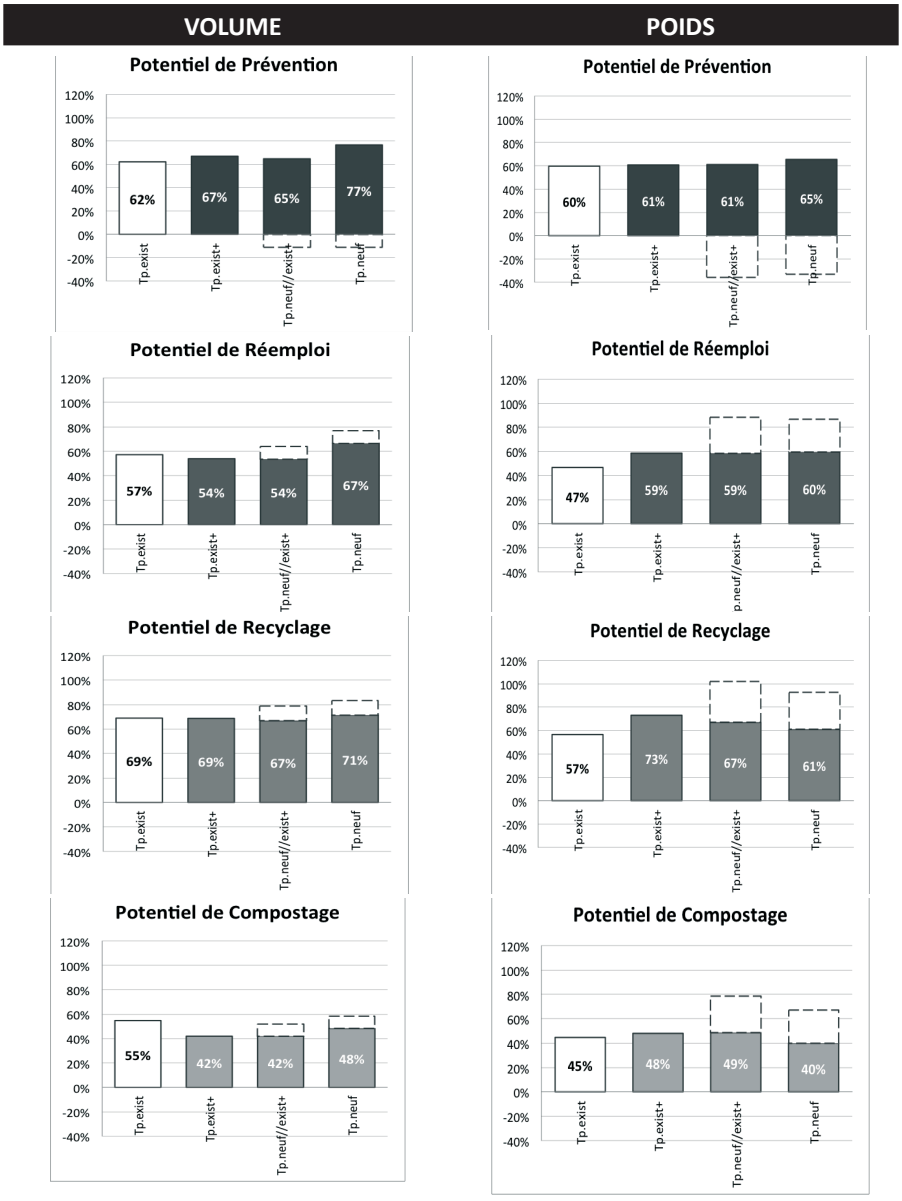
Les mêmes tendances que pour le potentiel de compostage sont observées: les résultats ainsi que le classement sont effectivement comparables.

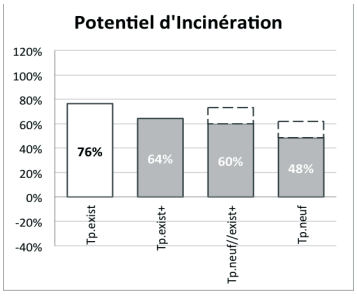
Potentiel global

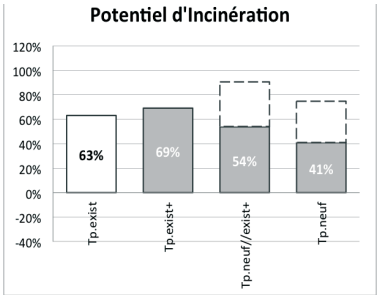
Nous avons pu observer des similitudes entre les résultats se basant sur l'unité de poids et ceux se basant sur les unités de volume principalement pour les trois premiers degrés de valorisation. Concernant le compostage et l'incinération, les variations sont plus importantes, cependant, le classement des parois est identique entre les deux unités de référence.
Sans facteur de correction, les deux premières parois types (*Tv.exist+* et *Tv.neuf//exist+*) sont systématiquement en première position pour les potentiels de réemploi (unité volume seulement), recyclage, compostage et incinération bien que les résultats soient globalement similaires entre les trois solutions. Le potentiel de prévention apparaît plus conséquent pour *Tv.neuf.* Le facteur de correction modifie considérablement cet ordre puisque *Tv.exist+* arrive en premier lieu pour le potentiel de prévention et *T.neuf//exist+* y est en dernière position. Ensuite, pour le potentiel de réemploi, c'est *Tv.neuf qui* apparaît comme la solution la plus intéressante. Alors que pour les potentiels de recyclage, compostage et incinération, c'est la deuxième solution (*Tv.neuf//exist+*) qui est la plus intéressante. Sauf pour le potentiel de prévention, la solution de paroi conservée et améliorée est à chaque fois en dernière position.

Toitures plates

Figure 4.12: Valorisabilité Toiture plate (considérant l'unité de volume et de poids)







1. Potentiel de prévention

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Les paramètres influençant la différence de résultats entre les trois solutions de parois types concernent surtout deux paramètres: la *possibilité de préfabrication* et la *compatibilité entre durée de vie et situation dans le layer*. En effet, concernant la préfabrication, nous avons supposé qu'elle soit possible dans le troisième cas de paroi (*Tp.neuf*) et pas dans les autres. Par rapport à la compatibilité de durée de vie avec le layer, les résultats montrent une diminution de performances de la première à la troisième solution de paroi. Cette dernière paroi présente effectivement une structure FJI (composée d'OSB et multiplex) insufflée de cellulose (en grand proportion) dont les durées de vie sont identifiées comme inférieures à la durée de vie attendue pour le layer structurel. Le résultat est donc pénalisant pour Tp.neuf. Les deux autres parois présentent également des différences. Néanmoins, ces deux parois étant relativement similaires, les variations de résultats trouvent leur explication dans la répartition et la proportion des différentes matières (voir composition de paroi).

Les résultats globaux sont plutôt bons pour l'ensemble des autres paramètres sauf pour les suivants: *résistance aux usages répétés* (dû à la grande proportion d'isolant inadapté aux usages répétés), *remplacement* (dû à la durée de vie moyenne de 30 ans ou moins de la majorité des matériaux en présence), *nombre de fractions de catégorie différente* (isolant, matières plastiques, bois, inertes, liants minéraux et dérivés).

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel existant est de l'ordre d'une soixantaine de pourcents aussi bien pour le volume que pour le poids. Quelle que soit l'unité considérée, et sans l'application du facteur de correction, ce potentiel tend à augmenter pour les parois types projetées: entre +5 et + 15% pour le volume et de +1 à +5% pour le poids. Une fois le facteur correctif appliqué pour l'unité de volume, les variations restent relativement faibles entre le potentiel de la paroi initiale et celui des autres parois. Concernant l'unité de poids par contre, les différences sont plus importantes puisque les parois démolies/

reconstruites présentent des bilans inférieurs de -28 à -35% par rapport au potentiel d'origine.

Différence entre volume et poids

Les différences de résultat entre le volume et le poids sont relativement faibles sauf dans le cas de Tp.neuf. De manière générale, malgré ces variations, le classement des parois est identique entre les deux unités considérées, facteur de correction appliqué ou non.

Classement des parois

Tableau 4.19: Potentiel de prévention de la toiture plate: classement des parois

Parois		Tp.exist+	Tp.neuf//exist+	Tp.neuf
NC	V	2	3	1
	P	2	2	1
C	V	1	3	2
	P	1	3	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Encore une fois, nous observons l'impact considérable de l'application du facteur de correction dans l'ordre de classement des potentiels de prévention. La paroi démolie et reconstruite *Tp.neuf* est en effet initialement la plus intéressante (dans les deux cas d'unité). Une fois le facteur de correction appliqué, la paroi conservée et améliorée *Tp.exist+* reprend le dessus parfois de façon considérable: en considération du poids, plus de 36% de différence sont observés avec *Tp.neuf//exist+*.

2. Potentiel de réemploi

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

De manière générale, les résultats sont relativement similaires entre les deux premières parois (Tp.exist+ et Tp.neuf//exist+) et un peu plus intéressants pour la troisième paroi. (Tp.neuf). Deux facteurs influencent ces résultats. Le premier est l'application du critère d'exclusion sur certains matériaux dans une proportion plus importante pour les deux premières parois. Le second facteur concerne la quantité importante de cellulose contenue dans la troisième paroi: plus de 18% en plus que dans *Tp.exist+* et *Tp.neuf//exist+*. Ce matériau utilisé en vrac aura effectivement un effet positif sur les paramètres suivants: *masse volumique* (faible), *dimensions/ échelles* (faibles), *type d'assemblage* (sans fixation), *indépendance entre couche* (pas de fixation donc forte indépendance) et *accessibilité des connexions* (désinsufflage aisé).

Les paramètres présentant les moins bons résultats pour l'ensemble des parois concernent le *nombre d'assemblages de type différents* (nombre élevé), la *résistance*

aux usages répétés et *le nombre de fractions de type différent* (remarques identiques à celles formulées pour la prévention) et enfin, l'*adaptabilité au réemploi* (faible vu les proportions importantes d'isolant) et les *filières* (quasiment inexistantes sauf pour la structure en bois plein)

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel initial est estimé à 57% pour l'unité de volume et 47% pour l'unité de poids. De nouveau, les résultats de potentiel des parois projetées semblent conserver (à -3% près) le même type de valeur voire même la dépassent (entre +10 et +13%): il n'y aurait donc pas de « perte » de potentiel de réemploi liée à l'intervention de rénovation. Le dépassement est d'autant plus important avec l'application du facteur de correction (surtout pour le poids). Nous rappelons que l'ensemble de ces parois sont, comme les toitures à versant, composées d'une structure bois avec cellulose insufflée dans l'épaisseur structurelle renforcée d'une isolation par l'extérieur. La position relativement favorable prise au départ quant aux matériaux bois et à la cellulose (explicitée précédemment) et leur proportion respective importante dans la paroi peuvent en grande partie expliquer ces tendances.

Différence entre volume et poids

Encore une fois, il existe peu de différences notables entre les résultats de volume et de poids (de 5 à 7% de différence), le classement est relativement similaire entre ces deux unités (voir ci-dessous).

Classement des parois

Tableau 4.20: Potentiel de réemploi de la toiture plate: classement des parois

Parois		Tp.exist+	Tp.neuf//exist+	Tp.neuf
NC	V	2	2	1
	P	2	2	1
C	V	3	2	1
	P	3	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Comme pour le potentiel de prévention, *Tp.neuf* conserve la première position sans le facteur de correction appliqué. Il conserve également cette première place après application du facteur pour l'unité de volume. Pour l'unité de poids additionnée du facteur correctif, c'est l'autre paroi démolie et reconstruite *Tp.neuf//exist+* qui présente le meilleur résultat. Or, sans ce facteur, la paroi conservée et améliorée offre les mêmes performances que celle reconstruite à l'identique *Tp.neuf//exist+:* bien que de façon globale, cette solution n'apparaisse pas comme la meilleure, elle sera alors à considérer au regard des impacts environnementaux engendrés (voir chapitre suivant).

3. Potentiel de recyclage

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Le paramètre pour lequel une variation est observée entre les parois concerne l'*indépendance entre couches*. Effectivement, comme il a été mentionné précédemment, *Tp.neuf* possède une proportion importante de cellulose (plus de 78% de la paroi en volume). C'est cette proportion importante qui va influencer les résultats des deux paramètres précités. La cellulose étant insufflée, son indépendance avec les autres couches est quasiment maximale: en matière de « démontage », la désinsufflation est un procédé simple qui permet de récupérer l'isolant sans risques importants de « contamination » avec les autres matières. Les autres paramètres présentant un résultat moyen pour l'ensemble des parois projetées concernent le *nombre de fractions de catégorie différente* (comme pour la prévention et le réemploi) et la présence de *filières* de recyclage malheureusement très peu ou non développées pour les matériaux isolants pourtant présents en grande proportion. Le recyclage des ces matières, s'il existe, est presque essentiellement effectué sur le site de production, ce qui équivaut à un résultat moyen dans l'évaluation.

Par rapport au potentiel existant

Entre les deux bilans du potentiel existant (volume et poids), on observe un écart de 12% en faveur de l'unité de volume. Par rapport à ce résultat de base et suivant la même tendance que pour les potentiels de valorisation précédents, les potentiels des parois projetées sont en général légèrement supérieurs, voire fortement supérieurs, si le facteur de correction est appliqué (dans le cas des parois démolies/reconstruites).

Différence entre volume et poids

La différence de résultat entre l'unité de volume et de poids est nulle pour *Tp.neuf//exist+,* mais varie de -10% pour *Tp.neuf* à +4% pour *Tp.exist+* vers l'unité de poids. Sans application du facteur de correction, les résultats restent néanmoins dans la même tranche puisqu'ils varient de 69 à 71% pour le volume et de 61 à 73% pour le poids. Mais les différences identifiées ont un impact sur le classement des parois présenté ci-dessous.

Classement des parois

Tableau 4.21: Potentiel de recyclage de la toiture plate: classement des parois

Parois		Tp.exist+	Tp.neuf//exist+	Tp.neuf
NC	V	2	3	1
	P	1	2	3
C	V	3	2	1
	P	3	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Concernant l'unité de volume, bien que globalement similaire, le meilleur résultat revient à *Tp.neuf* facteur correctif appliqué ou non. Sans ce facteur, *Tp.exist+* arrive en deuxième place alors qu'il sera troisième une fois le facteur comptabilisé.
Concernant le poids, c'est justement *Tp.exist+* qui présente le meilleur résultat. Cette paroi conservée et améliorée passe toutefois après les deux autres une fois le facteur appliqué.

4. Potentiel de compostage

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel existant est estimé à 55% pour le volume et 45% pour le poids, il y a donc une différence de 10% entre ces deux données. Pour l'unité de volume, les résultats des parois projetées sont inférieurs de 7 à 13% au résultat de l'existant. Cette différence est moins présente dans le cas du bilan considérant le poids (variations de -5 à +4%). L'application du facteur de correction augmente considérablement le potentiel des parois démolies/reconstruites surtout dans le cas de l'unité de poids: le potentiel dépasse alors largement celui de l'existant.

Différence entre volume et poids

Les différences observées entre l'unité de volume et de poids varient de +7 à -8% en faveur du bilan poids. L'ordre de grandeur des valeurs communiquées est relativement similaire (entre 40 et 49%), mais une variation dans le classement est toutefois observée (voir ci-dessous).

Classement des parois

Tableau 4.22: Potentiel de compostage de la toiture plate: classement des parois

Parois		Tp.exist+	Tp.neuf//exist+	Tp.neuf
NC	V	2	2	1
	P	2	1	3
C	V	3	2	1
	P	3	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

La différence de classement n'est ici pas totalement due à l'application du facteur de correction puisque le meilleur résultat concerne la même paroi que le facteur soit comptabilisé ou non. En effet, *Tp.neuf* est la paroi apparaissant comme ayant le meilleur potentiel de compostage en considérant l'unité de volume, et ce, avec ou sans facteur. Concernant le bilan de poids, c'est la paroi *Tp.neuf//exist+* qui est un peu plus intéressante (résultat presque identique à *Tp.exist+*) et, de loin la plus intéressante une fois le facteur de correction appliqué.

5. Potentiel d'incinération

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel d'incinération de la paroi type existante est relativement élevé avec 76% pour le bilan de volume et 63% pour le bilan de poids. À part dans le cas de *Tp.exist+* (en volume seulement), l'ensemble des parois projetées présente des résultats inférieurs au potentiel initial toutes unités confondues: de -12 à -28% en volume et de +7 (Tp.exist+) à -22% en poids. Une fois le facteur de correction appliqué, le potentiel des parois projetées reste plus petit comparativement à l'existant pour le bilan volume alors que pour le bilan poids, ce potentiel dépasse le potentiel initial.

Différence entre volume et poids

Les différences entre volume et poids sont faibles et n'engendrent aucune différence de classement des parois. Seul le facteur correctif aura une influence sur l'ordre des résultats.

Classement des parois

Tableau 4.23: Potentiel d'incinération de la toiture plate: classement des parois

Parois		Tp.exist+	Tp.neuf//exist+	Tp.neuf
NC	V	1	2	3
	P	1	2	3
C	V	2	1	3
	P	3	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Sans application du facteur de correction, la paroi conservée et améliorée *Tp.exist+* présente le meilleur résultat pour les deux unités considérées, suivie par *Tp.neuf// exist+* et *Tp.neuf*. Une fois le facteur appliqué, *Tp.neuf//exist+* se place alors en première position. *Tp.neuf* semble moins bien placé de manière générale. Cela s'explique en partie par la proportion plus importante de cellulose que dans les autres parois: la cellulose possède un pouvoir calorifique quelque peu inférieur aux autres matériaux composant ces parois (bois plein, panneaux, EPS principalement).

Potentiel global

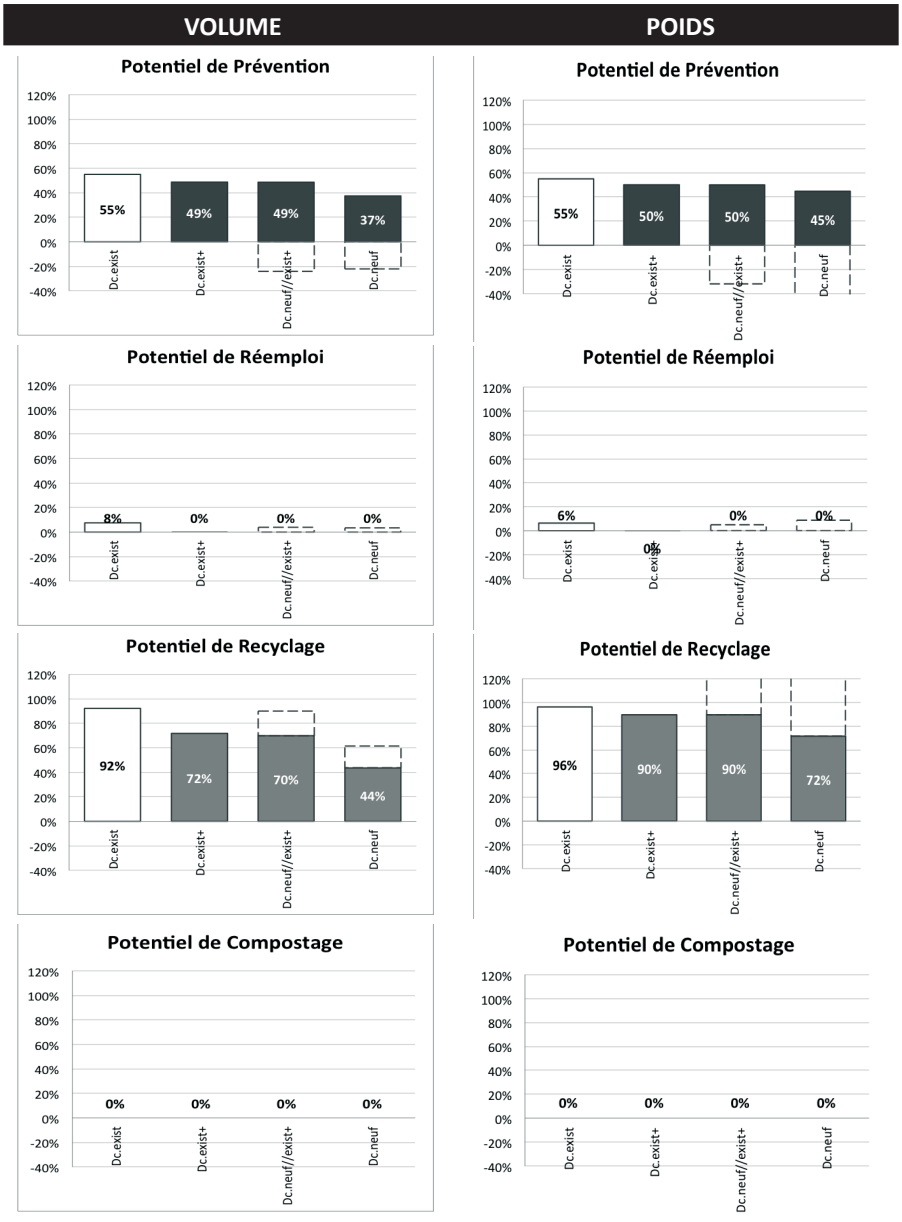
Les résultats globaux de la composante toiture plate pour le bilan volume, montre une prédominance de potentiel de valorisation pour la paroi *Tp.neuf* , sauf dans le cas du potentiel d'incinération. La paroi conservée et améliorée *Tp.exist+* présente le deuxième potentiel le plus intéressant, cette paroi arrive en tête pour le potentiel d'incinération. Nous remarquons qu'une fois le facteur de correction appliqué, *Tp.neuf* reste en première position pour les potentiels de réemploi, recyclage et compostage alors que l'ordre s'inverse pour le potentiel de prévention puisque *Tp.exist+* est alors la paroi la plus intéressante. En termes de bilan de poids, nous observons

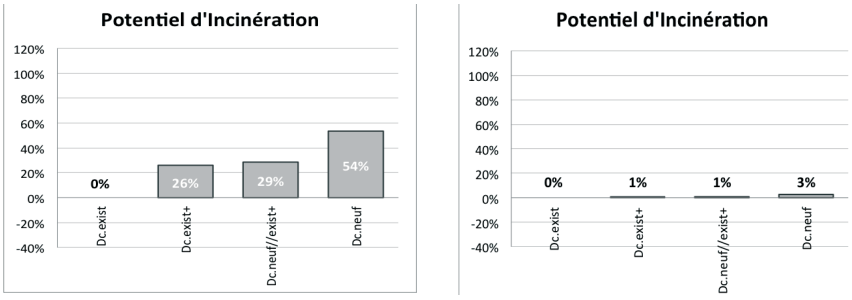
également une bonne performance moyenne de *Tp.neuf* bien que *Tp.exist+* propose un meilleur résultat pour le recyclage et l'incinération. L'application du facteur de correction dans ce bilan va en faveur de *Tp.neuf//exist+*. Les bilans des parois projetées présentent des résultats en général supérieurs aux potentiels estimés pour la paroi existante sauf dans le cas du potentiel de compostage et d'incinération (en volume). Cela signifierait-il que les valeurs de valorisation des nouvelles parois sont plus attrayantes que pour la paroi initiale considérée ? L'explication se trouve en ce que la paroi existante possède plus de 20% (en volume) de plaques en fibroplâtre très peu voire pas du tout valorisables alors que les parois projetées, plus variées dans les catégories de matières les composant, présentent une proportion plus grande de matériaux potentiellement valorisables.

Que retenir de ces résultats ? Devons-nous en conclure que démolir et reconstruire la toiture plate propose un meilleur bilan de potentiel de valorisation ? N'oublions pas que ces cinq degrés de valorisation ont des degrés de priorité différents. Il est donc important de faire remarquer que les résultats pour la prévention prévalent sur le réemploi qui prévaut lui-même sur le recyclage, etc. Il nous semble important également de noter que l'ordre de classement se joue parfois sur quelques pourcents. Outre la priorité d'action, il faut donc également considérer les différences d'écarts de résultats dans l'interprétation globale des données. Enfin, la prévalence importante de la troisième solution (*Tp.neuf*) s'explique également par la nature des matériaux qui la composent et leur proportion respective. Ainsi, la structure de cette paroi étant réduite à son minimum (FJI), l'isolant (uniquement composé de cellulose) présente une part importante de la paroi *Tp.neuf*. Les deux autres solutions combinent deux isolants différents: cellulose et panneaux de mousse résolique. Or, la cellulose, comme cela a déjà été dit précédemment, a été considérée favorablement pour le paramètre *adaptabilité au réemploi*: un score moyen lui est attribué pour ce paramètre en particulier alors que le score pour l'autre isolant est nul.

Dalles sur cave

Figure 4.13: Valorisabilité Dalle sur cave (considérant l'unité de volume et de poids)





1. Potentiel de prévention

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Nous pouvons observer des différences de résultats entre les trois parois proposées pour les paramètres suivants: *forme*, *masse volumique*, *système constructif*, *compatibilité entre durée de vie et layer*. Dans la majorité des cas, exception faite du paramètre *masse volumique*, la troisième solution Dc.neuf présentera des résultats inférieurs aux deux autres. Particulièrement dans le cas de la compatibilité entre durées de vie et layer, l'isolant en XPS (polystyrène extrudé) constituant les claveaux de la dalle sur cave possède une durée de vie inférieure à celle du béton et à celle attendue par le layer structurel. Le résultat pour ce paramètre sera donc réduit, mais en réalité, une fois la chape de compression en béton coulée sur l'ensemble du système poutrains/claveaux, nous doutons que la partie isolante soit remplacée de manière effective au terme de sa durée de vie annoncée. En outre, nous avons considéré le système constructif utilisé pour *Dc.neuf* comme moins fréquent que les techniques constructives des deux autres parois.

Notons que pour l'ensemble des parois projetées, des résultats nuls sont obtenus pour les paramètres suivants: *résistance aux usages répétés* (pas d'application puisqu'aucun démontage n'est possible et que la démolition anéantit toute possibilité d'usage répété), une *possibilité de préfabrication* (nulle), l'*indépendance entre couches* (nulle puisque tout est coulé ou collé), l'*accessibilité des connexions* (nulle puisque tout est coulé ou collé), et de ce fait, la *qualité potentielle des fractions* (nulle puisqu'un mélange des fractions est quasiment inévitable lors de la démolition).

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel existant est similaire aussi bien pour le bilan volume que pour le bilan poids et propose un résultat moyen de 55%. Les bilans des parois projetées sont dans tous les cas inférieurs au bilan initial: de -6 à -18% pour le volume et de -5 à -10% pour le poids. Cela signifie une perte de potentiel générée par l'opération de rénovation. Lorsque le facteur de correction est appliqué, cette différence de résultat est d'autant plus significative pour les parois démolies et reconstruites.

Différence entre volume et poids

Il existe très peu de variations dans les résultats entre poids et volume: entre +1 et +8% en faveur du bilan poids. Dans les deux cas d'unité, l'ordre du classement est identique, même avec l'application du facteur de correction. Nous ne différencierons donc pas ces unités puisqu'elles convergent.

Classement des parois

Tableau 4.24: Potentiel de prévention de la dalle sur cave: classement des parois

Parois		Dc.exist+	Dc.neuf//exist+	Dc.neuf
NC	V	1	1	2
	P	1	1	2
C	V	1	2	3
	P	1	2	3

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

En termes de prévention, la paroi proposant le meilleur bilan, quelle que soit l'unité considérée et facteur de correction appliqué ou non, concerne la paroi conservée et améliorée *Dc.exist+*. Notons néanmoins que dans le cas où le facteur correctif est considéré, la paroi reconstruite *Dc.neuf//exist+* présente les mêmes résultats de potentiel de prévention que *Dc.exist+* pour les bilans volume et poids.
Sans facteur de correction, l'écart entre le résultat le plus faible et le résultat le plus élevé est de 12% pour le volume et 5% pour le poids. Cet écart peut aller jusqu'à 34% pour le volume et 52% pour le poids!

2. Potentiel de réemploi

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Étant donné que l'ensemble des couches composant les parois présente des types d'assemblage humides pénalisants (R_{joint}>$R_{matériau}$, colle ou solidarisation sans élément tiers), la règle du critère d'exclusion a été appliquée (voir méthode de comptabilisation). Le résultat est une évaluation nulle en matière de potentiel de réemploi pour l'ensemble des parois projetées.

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de réemploi de la paroi existante est très faible, voire quasiment nul puisqu'il représente 8% dans le bilan de volume et 6% dans le bilan de poids. En effet, seule la couche de carrelage en grès cérame représente un potentiel éventuel de réemploi et elle ne représente qu'environ 9% de la paroi en volume. L'ensemble des autres couches n'offre aucune possibilité de démontage, elles seront donc démolies et inaptes au réemploi. Par rapport à ce bilan existant relativement faible, les résultats des parois projetées ne sont guère plus avantageux puisqu'ils sont nuls dans les trois cas de parois. Il y a donc perte de potentiel, notamment dans le cas de la

paroi conservée et améliorée. Effectivement, cette paroi propose le coulage d'une nouvelle chape avec de nouveaux éléments de finition en carrelage annihilant de la sorte toute possibilité de récupération des carrelages existants jusqu'alors potentiellement récupérables. Avec l'application du facteur de correction, les parois démolies et reconstruites proposent un faible potentiel de réemploi supplémentaire de l'ordre de quelques pourcents.

Différence entre volume et poids

Il n'y a pas lieu ici de discuter des différences entre bilan de poids et de volume puisque les résultats sont nuls dans les deux cas. Seule une légère différence est observée dans l'application du facteur de correction, supérieure de quelques pourcents pour l'unité de poids. Cela s'explique par la masse volumique relativement élevée du carrelage.

Classement des parois

Tableau 4.25: Potentiel de réemploi de la dalle sur cave: classement des parois

Parois		Dc.exist+	Dc.neuf//exist+	Dc.neuf
NC	V	-	-	-
	P	-	-	-
C	V	-	1	2
	P	-	2	1

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Sans l'application du facteur de correction, seule la paroi existante offre un potentiel, certes réduit, de réemploi. Ce faible potentiel est « récupéré » par les parois démolies et reconstruites une fois le facteur de correction appliqué, mais ces résultats restent néanmoins « anecdotiques ».

3. Potentiel de recyclage

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Alors que les deux premières parois (*Dc.exist+* et *Dc.neuf.exist+*) proposent des résultats équivalents pour l'ensemble des paramètres, la troisième paroi (*Dc.neuf*) se différencie par des résultats nettement moins intéressants. Les résultats les plus pénalisants concernent l'*indépendance entre couches*, le *nombre de fractions de type différent* et la *qualité potentielle des fractions* (faible étant donné le mode constructif et la composition hétérogène de la paroi). Notons toutefois que pour l'ensemble de ces parois, la règle de l'exception a été appliquée (voir méthode de comptabilisation) qui permet de ne pas pénaliser certaines matières (inertes dans ce cas) présentant un potentiel de recyclage malgré leur mélange inhérent à toute opération de démolition.

Par rapport au potentiel existant

Par rapport au potentiel existant relativement élevé et presque similaire entre les bilans de volume et de poids, les parois projetées présentent systématiquement un résultat inférieur dont l'écart est plus conséquent dans le cas de l'unité de volume: la différence entre le potentiel de recyclage de l'existant et celui de *Dc.neuf* est de 48%! De nouveau, l'application du facteur de correction tend à rééquilibrer voire inverser la situation (dans le cas du bilan poids) au bénéfice des parois démolies et reconstruites (*Dc.neuf//exist+* et *Dc.neuf*). En effet, au potentiel de recyclage déjà élevé des parois projetées s'ajoute le potentiel de recyclage conséquent de l'existant démoli.

Différence entre volume et poids

La différence entre les résultats de volume et de poids est relativement importante puisqu'elle varie entre +18 et +28% en faveur du bilan de poids. Néanmoins, comme les proportions entre résultats restent équivalentes, le classement se présente de façon similaire. Nous remarquons que les données obtenues en considérant l'unité de poids sont très élevées surtout pour Dc.exist+ et Dc.neuf//exist+. Cela s'explique par le fait que les parois se composent principalement de matériaux inertes dont la masse volumique est importante alors que la proportion d'isolant a plus d'impact en termes de volume.

Classement des parois

Tableau 4.26: Potentiel de recyclage de la dalle sur cave: classement des parois

Parois		Dc.exist+	Dc.neuf//exist+	Dc.neuf
NC	V	1	2	3
	P	1	1	2
C	V	2	1	3
	P	3	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Les résultats du potentiel de recyclage démontrent que la solution de paroi conservée et améliorée *Dc.exist+* représente la solution la plus avantageuse suivie de près voire égalée par *Dc.neuf//exist+* quelle que soit l'unité considérée. *Dc.neuf* est en tous les cas en dernière position.
Avec l'application du facteur de correction, relativement conséquent vu le potentiel initial important, la paroi présentant le meilleur bilan concerne *Dc.neuf//exist+*. *Dc.exist+* est évidemment pénalisée par l'application de ce facteur, mais reste néanmoins en deuxième position dans le bilan de volume.

4. Potentiel de compostage

Il n'existe aucun potentiel de compostage étant donné la nature non biodégradable des différents matériaux constituant les parois: il s'agit principalement de matières

inertes avec un peu d'isolant d'origine synthétique et issu de la pétrochimie (non valorisable dans ce cas de valorisation).

5. Potentiel d'incinération

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel d'incinération existant étant nul, les parois projetées ne peuvent que proposer un bilan nul similaire ou un meilleur bilan. C'est en effet le cas pour les trois parois projetées qui proposent des bilans d'*incinérabilité* relativement faibles, mais néanmoins supérieurs au bilan initial. Il y a donc un accroissement de la valeur en termes de valorisation énergétique possible.

Différence entre volume et poids

La différence entre le volume et le poids est assez conséquente: de -25 à -51% vers l'unité de poids. L'explication vient du fait que les matières présentant un caractère incinérable concernent essentiellement les isolants contenus dans les parois. Or, ces matériaux ont une masse volumique assez faible bien qu'ils soient présents dans une proportion supérieure à 20% en volume. Ainsi, le bilan de poids propose des potentiels d'incinération de seulement 1 à 3% alors que le bilan de volume représente de 26 à 54%.

Classement des parois

Tableau 4.27: Potentiel d'incinération:de la dalle sur cave: classement des parois

Parois		Dc.exist+	Dc.neuf//exist+	Dc.neuf
NC	V	3	2	1
	P	2	2	1

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Les résultats de potentiel d'incinération ne constituent que quelques pourcents pour le bilan poids, le classement des parois est donc très relatif (seulement 2% de différence entre les parois). Concernant le bilan de volume par contre, l'écart entre le meilleur résultat et le moins bon représente 28%! La donnée la plus intéressante est engendrée par *Dc.neuf* alors que les deux autres parois *Dc.exist+* et *Dc.neuf//exist+* ont un bilan relativement similaire. Cette différence de résultat s'explique par une proportion d'isolant beaucoup plus importante dans le cas de *Dc.neuf* (53%) que dans les deux autres cas (de 20 à 28%). Notons toutefois que l'isolant en XPS constituant les claveaux de la dalle dans *Dc.neuf* est complètement noyé dans le béton, sa totale valorisation vers l'incinérateur sera peut-être quelque peu compromise. Dans une moindre mesure, ce constat concerne également les autres isolants en PUR qui sont proposés sous la forme de panneaux composites multicouches (accolé de la couche de finition en carton-plâtre) difficilement séparables. Notons que l'application d'un facteur de correction n'est pas requise étant donné le bilan nul que pré-

sente la paroi existante.
Potentiel global

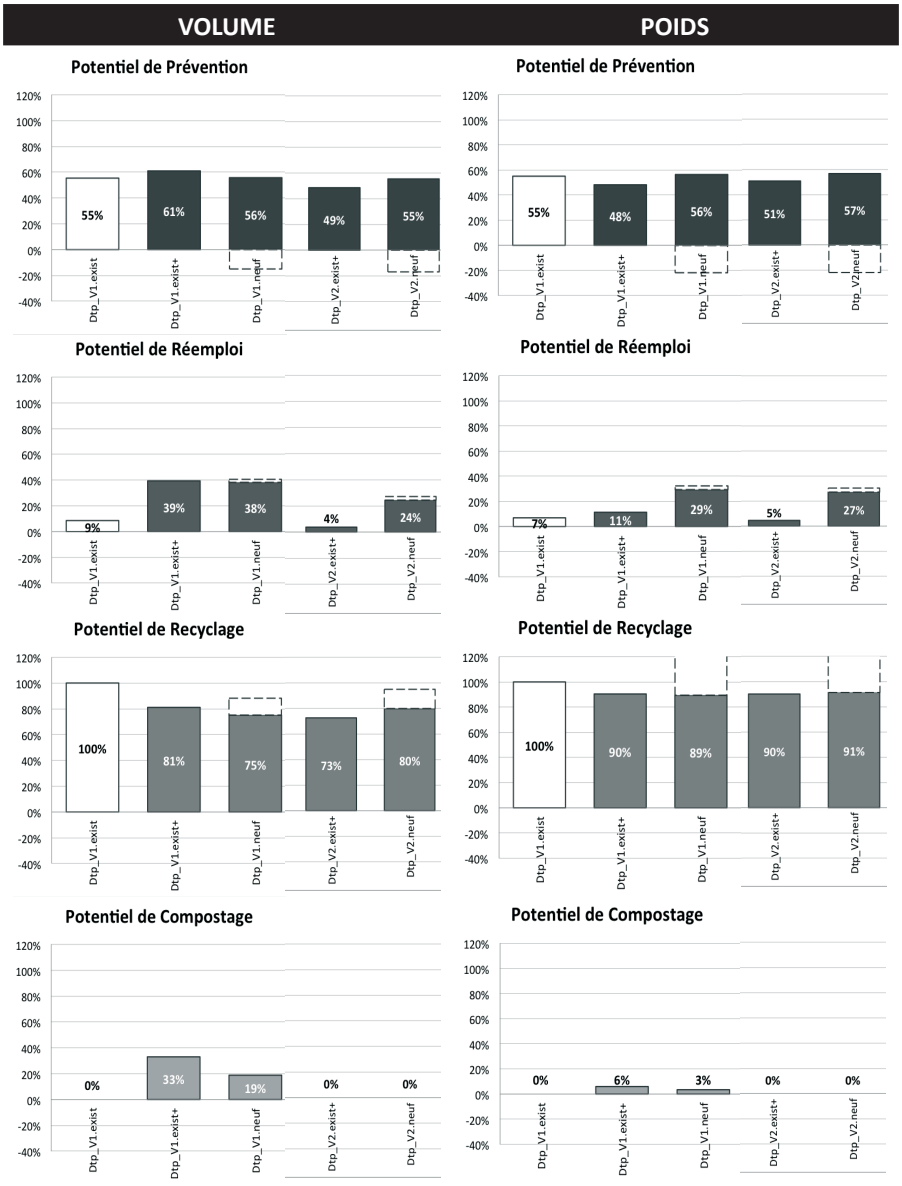
Dans son ensemble, les parois projetées présentent systématiquement des bilans inférieurs au bilan de la paroi existante, exception faite du potentiel d'incinération et du potentiel de compostage qui est nul. Cela signifie donc que l'opération de rénovation possède un effet dévaluant sur le potentiel de valorisation initial, sauf dans certains cas où le facteur de correction est appliqué (principalement pour le potentiel de recyclage).

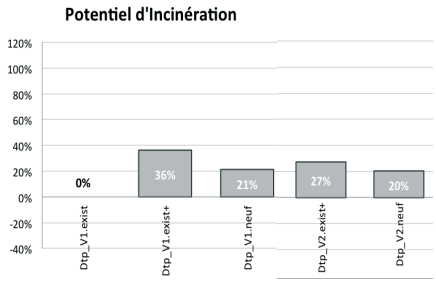
Notons également que les parois types de la composante dalle sur cave proposent des bilans peu intéressants pour quatre des cinq degrés de valorisation. En effet, seul le potentiel de recyclage dépasse les 50%. Le potentiel de recyclage est d'ailleurs conséquent puisqu'il est de l'ordre des 70 à 90% pour certaines parois. Ce résultat est dû en grande partie au système d'**exception** formulé dans la méthode de comptabilisation. En effet, les éléments inertes contenus dans les parois (principalement béton armé, chape et finition sol) présentent une impossibilité de démontage ou de séparation qui constitue un élément préjudiciable dans le cas de certains paramètres (*indépendance entre couches* et *qualité potentielle des fractions*). Or, ces couches faisant partie de la même catégorie de matériaux dont le système de recyclage permet un certain taux de mélange acceptable (entre inertes), leur résultat en termes de recyclage a été considéré comme « optimal ».

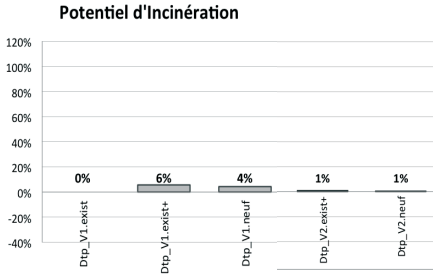
Nous retenons donc que cette composante présente un potentiel intéressant en termes de recyclage, un potentiel moyen en termes de prévention et un potentiel faible à nul concernant les trois autres degrés de valorisation. La priorité d'action doit également être intégrée à l'interprétation des résultats.

Dalle sur terre-plein

Figure 4.14: Valorisabilité Dalle sur terre-plein
(considérant l'unité de volume et de poids)







1. Potentiel de prévention

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Nous pouvons observer des différences plus ou moins importantes de résultats entre les parois types projetées pour les paramètres suivants: *résistance aux usages répétés*, *indépendance entre couche*, *accessibilité des connexions* et *qualité potentielle des flux*. La paroi *Dtp2.exist+* propose systématiquement des résultats bien inférieurs aux autres parois. Cette tendance est entièrement due au système constructif utilisé et au fait que la couche de sable (en proportion importante et potentiellement réemployable, recyclable et réutilisable) ait été comptabilisée dans les parois démolies/reconstruites et pas dans les parois conservées/améliorées. Pour le paramètre *accessibilité des connexions*, par contre, seule la paroi *Dtp1.exist+* possède un résultat positif (les autres sont nuls). L'indépendance entre couches est également nettement meilleure pour cette paroi que pour les autres. Le fait de venir apposer une nouvelle structure en bois remplie d'isolant (cellulose en vrac) au-dessus de la dalle existante permet, par la nature des assemblages, un démontage aisé et donc une accessibilité à la dalle existante sans démolition préalable des autres couches supérieures.

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de prévention pour la paroi existante est de l'ordre de 55% aussi bien pour le bilan de volume que celui de poids. Par rapport à ce potentiel initial, les parois projetées présentent des résultats similaires: bilan en général égal ou supérieur (+6%) sauf pour *Dtp2.exist+* qui propose un bilan inférieur de 6% au bilan de l'existant. Il n'existe pas de réelle perte de « valeur » concernant ce potentiel sauf si le facteur de correction est appliqué. Dans ce cas, la différence par rapport au résultat initial est de 14% (volume) à 21% (poids) en défaveur des parois démolies et reconstruites (*Dtp1.neuf* et *Dtp2.neuf*).

Différence entre volume et poids

À part pour Dtp1.exist+ où une différence de 13% est observée entre le bilan de volume et le bilan de poids (en défaveur de ce dernier), les autres parois présentent un bilan relativement similaire entre ces deux unités. Pourtant, les résultats obtenus entre ces deux bilans ne coïncident pas sauf pour *Dtp1.neuf* qui arrive en deuxième

position. Mais notons que l'écart de résultats entre les quatre solutions de parois est de 12% entre la plus basse et la plus haute des données pour le volume, et elle est de 9% pour l'unité de poids.

Classement des parois

Tableau 4.28: Potentiel de prévention de la dalle sur terre-plein:classement des parois

Parois		Dtp1.exist+	Dtp2.exist+	Dtp1.neuf	Dtp2.neuf
NC	V	1	4	2	3
	P	4	3	2	1
C	V	1	2	3	4
	P	2	1	4	3

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Comme dit précédemment, les résultats entre volume et poids diffèrent. Ainsi *Dtp1.exist+* obtient la première place en terme de volume alors que c'est la paroi *Dtp2.neuf* qui obtient le meilleur résultat en poids (à 1% près de Dtp1.neuf). Une fois le facteur de correction appliqué, le potentiel de prévention est toujours le plus élevé pour *Dtp1.exist+* en volume et passe à *Dtp2.exist+* en poids. Cette différence de résultats entre volume et poids semble justifiée par les caractéristiques des matériaux composant les parois: pour les variantes Dtp1, les matériaux privilégiés sont à base de bois (finition en parquet, lambourdes et panneaux principalement) alors que les variantes Dtp2 recourent plutôt à des matériaux inertes plus « lourds ».

2. Potentiel de réemploi

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Concernant le potentiel de réemploi, la règle du critère d'exclusion (suivant le type d'assemblage) a été appliquée, et ce, particulièrement dans le cas de la seconde variante. Dès lors, nous pouvons observer un impact particulièrement pénalisant sur les résultats de *Dtp2.exist+* dont le bilan en matière de potentiel de réemploi est quasiment nul. La paroi *Dtp2.neuf* est également influencée par l'application de la règle d'exclusion. Néanmoins, la considération de la couche de sable dans ce cas tend à pousser les résultats du bilan final vers le haut. Alors que l'intervention utilisée dans le cas de *Dtp1.exist+* aura des effets positifs sur les paramètres de *types d'assemblage*, *indépendances entre couches*, *accessibilité des connexions* et *qualité potentielle des fractions*. Notons qu'en matière de *filières* existantes, peu d'opportunités existent, et ce pour les matières contenues dans l'ensemble des quatre parois projetées.

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de réemploi de la paroi existante n'est que de quelques pourcents: 7% pour le poids et 9% pour le volume. Ils correspondent à la possible et unique récu-

pération des carrelages existants. Ce potentiel sera dans presque tous les cas augmenté pour les parois projetées sauf pour *Dtp2.exist+* où une diminution est observée. L'écart maximal entre le potentiel initial et les potentiels projetés est de 30% pour le volume et 22% pour le poids. L'intervention de rénovation aurait donc pour effet une augmentation de la valeur des parois en terme de potentiel réemploi. En ce qui concerne les parois démolies et reconstruites (*Dtp1.neuf* et *Dtp2.neuf*), nous tenons à faire remarquer que les « bons » résultats obtenus sont essentiellement dus à la couche de sable stabilisé présente sous la dalle de béton. En effet, ce sable présente une proportion relativement importante, aussi bien en volume qu'en poids, et semble tout à fait adapté au réemploi (c'est-à-dire une réutilisation sans traitement préalable). Cette couche de sable n'a pas été comptabilisée dans les parois conservées et améliorées (*Dtp1.exist+* et *Dtp2.exist+*), d'où la différence souvent notable entre ces deux types de solutions d'intervention.

Différence entre volume et poids

Concernant les variations observées entre volume et poids, elles sont de l'ordre de +3% à -28% (Dtp1.exist+). L'ordre de classement en est donc quelque peu bousculé. Ainsi, nous retrouvons *Dtp1.exist+* en première place pour le bilan volume et *Dtp1.neuf* pour le bilan poids. *Dtp2.exist+* est dans tous les cas en dernière position et son résultat est plus faible que le potentiel initial: la proportion de l'unique matériau réemployable est diminuée par la présence de nouvelles matières par rapport à l'existant.

Classement des parois

Tableau 4.29: Potentiel de réemploi de la dalle sur terre-plein:classement des parois

Parois		Dtp1.exist+	Dtp2.exist+	Dtp1.neuf	Dtp2.neuf
NC	V	1	4	2	3
	P	3	4	1	2
C	V	2	4	1	3
	P	3	4	1	2

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Que le facteur de correction (même faible) soit appliqué ou non, les meilleurs résultats de potentiel de réemploi sont obtenus par les premières variantes Dtp1 (matériaux bois). Alors que *Dtp1.exist+* obtient la première place dans le bilan de volume, *Dtp1.neuf* présente le meilleur positionnement pour le poids et les deux bilans appliqués du facteur de correction. Nous tenons à souligner que ces résultats sont fortement influencés par le fait de considérer la couche de sable dans les solutions de parois démolies/reconstruites et non dans les solutions conservées/améliorées. Comme il en a été discuté ci-avant, le sable, considéré comme réemployable, présente effectivement une proportion importante aussi bien en poids (28%) qu'en volume (22 et 25%). Il influence donc les résultats en faveur des potentiels de *Dtp1.*

neuf et *Dtp2.neuf*.

3.Potentiel de recyclage

Paramètres d'influence (sur base du bilan volume)

Concernant le potentiel de recyclage, les résultats aux différents paramètres sont dans leur ensemble plutôt bons pour les quatre parois projetées, à l'exception du paramètre *nombre de fractions de catégorie différente* (nombre important pour toutes les parois). Notons que la règle de l'exception pour les matériaux inertes est appliquée, influençant positivement les résultats de ces parois. Quelques petites différences sont toutefois remarquées. Dtp1.exist+ possède par exemple un résultat légèrement inférieur pour les paramètres *adaptés au réemploi* et *filières* dû principalement à la forte proportion de cellulose (plus de 40%). Alors que *Dtp1.neuf* et *Dtp2.exist+* apparaissent moins intéressants pour les paramètres *indépendance entre couche* et *qualité potentielle des flux*.

Le fait d'avoir considéré la couche de sable pour les parois démolies/reconstruites influence de manière positive le résultat de ces parois. Ne connaissant pas la nature exacte de la couche sous dalle mise en oeuvre pour les parois existantes conservées et améliorées (souvent remblai), nous l'avons dans ce cas considérée par défaut comme inexistante. Néanmoins, vu l'influence importante de la couche de sable dans les solutions démolies/reconstruites (*Dtp1.neuf* et *Dtp2.neuf*), nous aurions pu considérer l'ensemble des parois projetées de la même manière concernant cette couche.

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de recyclage de la paroi existante est évalué comme étant maximal (100%). Ceci est évidemment une évaluation de potentiel théorique. Comparativement à ce bilan initial, les parois projetées présentent des bilans inférieurs jusqu'à -27% pour l'unité de volume et jusqu'à -11% pour l'unité de poids. L'opération de rénovation engendre donc une perte de « valeur » par rapport à la situation initiale. Dans le cas où le facteur de correction est appliqué, le potentiel des parois démolies et reconstruites est augmenté jusqu'à atteindre, dans le cas du bilan de poids, le résultat maximal initial de la paroi existante. En effet, les parois projetées présentent dans leur ensemble de bons résultats en termes de potentiel de recyclage. Si nous y ajoutons le potentiel de l'existant, les résultats seront d'autant meilleurs.

Différence entre volume et poids

Les différences entre volume et poids varient entre 9 et 17% en faveur de l'unité de poids. Effectivement, une grande part des matières contenues dans ces parois concernent le layer structurel en béton armé possédant une proportion importante en termes de poids. Nous observons une différence de classement entre les bilans de poids et de volume et des résultats très intéressants dans leur ensemble surtout

concernant l'unité de poids. Notons toutefois que la règle d'exception (voir méthode de comptabilisation) a été appliquée relativement aux couches d'inertes.

Classement des parois

Tableau 4.30: Potentiel de recyclage de la dalle sur terre-plein: classement des parois

Parois		Dtp1.exist+	Dtp2.exist+	Dtp1.neuf	Dtp2.neuf
NC	V	1	4	3	2
	P	2	2	3	1
C	V	3	4	2	1
	P	3	3	2	1

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

En termes de volume, c'est la paroi *Dtp1.exist+* qui arrive en tête avec 8% de plus que *Dtp2.exist+* qui arrive en dernière position. Le résultat de *Dtp2.neuf* est cependant relativement similaire à *Dtp.exist+* (1% de différence seulement). Le positionnement plutôt favorable de cette paroi démolie/reconstruite est encore une fois en partie dû à la comptabilisation de la couche de sable entièrement recyclable et non considérée dans le cas des parois conservées et améliorées. Il est donc important de considérer cette particularité dans l'interprétation des résultats.

En termes de poids, la première place revient à *Dtp2.neuf* suivi par les deux parois conservées et améliorées *Dtp1.exist+* et *Dtp2.exist+* (à 1% près). Notons toutefois que ce classement est relatif, car l'ensemble des parois projetées présente, dans le cadre du poids, des résultats intéressants dont l'écart entre le plus important et le plus faible n'est que de 2%.

Une fois le facteur de correction appliqué, le potentiel des parois démolies et reconstruites est renforcé et *Dtp2.neuf* arrive de nouveau en tête quelle que soit l'unité considérée.

4. Potentiel de compostage

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel de compostage existant est nul puisque la paroi existante se compose uniquement de matières inertes. Les bilans de parois projetées ne peuvent donc qu'être similaires ou supérieurs au bilan initial.

Différence entre volume et poids

Pour autant qu'il existe un résultat supérieur à zéro, et c'est le cas pour la variante 1 (Dtp1.exist+ et Dtp1.neuf), la différence entre volume et poids est importante puisqu'elle est de l'ordre de 16 à 27% en faveur du volume. L'explication est donnée

par le type de matières concerné: les matériaux à base de bois et les isolants naturels, considérés comme biodégradables, présentent une proportion en volume importante, mais une proportion en poids faible comparativement aux inertes constituant le restant de la paroi. Néanmoins, malgré ces écarts importants, les deux seules parois présentant un résultat proposent le même classement entre poids et volume.

Classement des parois

Tableau 4.31: Potentiel de compostage de la dalle sur terre-plein:classement des parois

Parois		Dtp1.exist+	Dtp2.exist+	Dtp1.neuf	Dtp2.neuf
NC	V	1	-	2	-
	P	1	-	2	-

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

La paroi conservée et améliorée *Dtp1.exist+* présente un résultat supérieur dans tous les cas au résultat de la paroi démolie et reconstruite *Dtp1.neuf.* La différence de résultat est de 14% dans le cas du volume et de 3% seulement dans le cas du poids. Aucun facteur de correction n'est d'application puisque le potentiel initial est nul.

5. Potentiel d'incinération

Par rapport au potentiel existant

Le potentiel d'incinération existant est nul puisque la paroi existante se compose uniquement de matières inertes. Les bilans de parois projetées sont dans tous les cas supérieurs au bilan initial. En effet, chacune des parois proposées contient au moins un matériau ayant la capacité d'être incinéré: l'isolant et, dans une moindre mesure car en proportion très faible, les membranes d'étanchéité (à base de matières plastiques). Il y a donc augmentation de potentiel par l'opération de rénovation concernant la valorisation énergétique.

Différence entre volume et poids

Comme dit précédemment, le potentiel d'incinération est principalement dû aux matériaux isolants et matières plastiques (membrane d'étanchéité en PE) ainsi qu'aux matériaux à base de bois (uniquement dans la première variante). Étant donné la faible proportion (membranes PE) et la faible masse volumique de ces matières (isolants, bois) comparativement aux inertes présents dans la paroi, il apparaît que les résultats en termes de poids sont beaucoup plus faibles que ceux pour le volume. La différence de résultats varie en effet de -17% à -30% vers le bilan de poids. Le classement varie quelque peu entre bilan de volume et de poids même si la première place revient à *Dtp1.exist+* dans les deux cas.

Classement des parois

Tableau 4.32: Potentiel d'incinération
de la dalle sur terre-plein:classement des parois

Parois		Dtp1.exist+	Dtp2.exist+	Dtp1.neuf	Dtp2.neuf
NC	V	1	2	3	4
	P	1	3	2	3

NC: sans facteur de correction; C: avec facteur de correction; V: Volume; P: Poids

Comme annoncé ci-dessus, la première place est occupée, aussi bien pour le volume que pour le poids, par la paroi conservée et améliorée *Dtp1.exist+*. Cette variante propose effectivement la réalisation d'une structure supérieure en lambourdes de bois avec cellulose en vrac qui représentent une proportion importante en terme de volume, mais également un poids plus important comparativement aux autres solutions de couches isolantes. En volume, la seconde place est attribuée à *Dtp2.exist+* alors qu'elle revient à *Dtp1.neuf* en poids. Ce qui différencie ces parois en considération des proportions significatives, c'est le pouvoir calorifique différent des isolants respectivement utilisés: important dans le cas du PUR (*Dtp2.exist+*) et moyen dans le cas du liège (*Dtp1.neuf*). Alors qu'en termes de poids, les éléments de finition bois de *Dtp1.neuf* présenteront une masse volumique plus conséquente que la part incinérable de *Dtp2.exist+* (isolant). Dtp2.neuf est en général en dernière position de par la proportion d'isolant plus faible aussi bien en volume qu'en poids.

Notons toutefois que l'écart de résultat entre le résultat le plus faible et celui le plus élevé est de 16% dans le bilan volume et seulement de 5% pour le bilan poids.
Aucun facteur de correction n'est appliqué étant donné le résultat nul de la paroi existante (aucun « bénéfice » de potentiel n'est lié à sa démolition).

Potentiel global

La composante dalle sur terre-plein rejoint quelque peu les conclusions émises pour la dalle sur cave. En effet, elle présente un bilan extrêmement intéressant en matière de potentiel de recyclage (de 75 à 91%). Son bilan de potentiel de prévention est relativement moyen (entre 48 et 61%) alors que les trois autres potentiels (réemploi, compostage et incinération) sont faibles à nuls (de 0 à 39%). Notons que si la priorité d'action devait être appliquée, ces parois ne constitueraient un réel potentiel qu'à partir de la troisième étape c'est-à-dire le recyclage!

Quant aux résultats, pour le bilan volume, nous retiendrons que la paroi conservée et améliorée *Dtp1.exist+* se place en première position quel que soit le degré de valorisation considéré. En deuxième position, on retrouve surtout *Dtp1.neuf* bien que cela varie dans le cas du recyclage et de l'incinération. Concernant le bilan de poids, la tendance est moins claire: *Dtp2.neuf* arrive en tête pour les potentiels de prévention et de recyclage, mais le résultat le plus intéressant quant au réemploi est attribué à

Dtp1.neuf. Nous rappelons que ces résultats, particulièrement en faveur des parois démolies et reconstruites, s'expliquent en grande partie par le fait que la couche de sable (en proportion relativement importante) a été considérée pour ces deux parois et non dans le cas des parois conservées/améliorées. Or, le sable a été défini comme potentiellement réemployable et recyclable. Quant aux potentiels de compostage et d'incinération, ils sont les plus conséquents pour Dtp1.exist+.

Enfin, le facteur de correction n'a été pratiqué que dans les trois premiers degrés de potentiel de valorisation (dû aux résultats nuls de l'existant en matière de compostage et d'incinération). L'application de ce dernier modifie quelque peu le classement des parois. Ainsi, pour le bilan volume, Dtp1.exist+ reste en première place pour la prévention alors que Dtp1.neuf prend de peu la première place pour le potentiel de réemploi (avec l'élément favorisant de la couche de sable). Quant au recyclage, c'est Dtp2.neuf qui présente le meilleur résultat. En poids, le potentiel de prévention attribue la première place à Dtp2.exist+, le réemploi à Dtp1.neuf et le recyclage àDtp2.neuf. Il n'existe donc pas d'orientations claires concernant une paroi en particulier puisqu'elles présentent chacune un potentiel plus intéressant à un moment ou à un autre. Nous nous référerons alors à la priorité d'action pour les départager. Poids et volume confondus et facteur de correction appliqué, les parois conservées et améliorées sont les plus intéressantes concernant le potentiel de prévention, *Dtp1.neuf* présente le meilleur résultat en matière de réemploi, et *Dtp2.neuf* est en première position pour le potentiel de recyclage.

4.3.7 Synthèse des résultats et conclusions

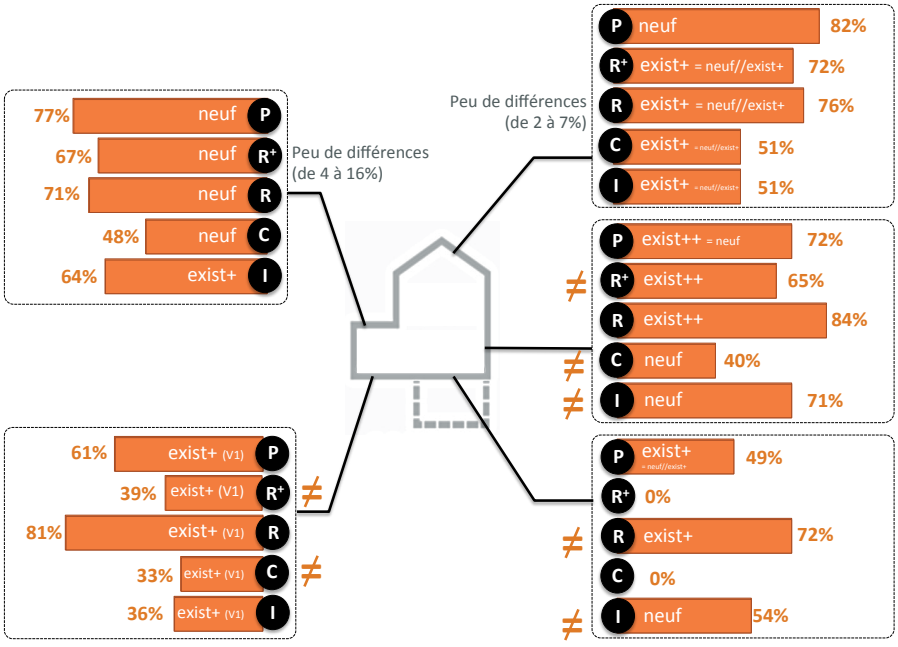
Par les conclusions ici formulées, nous souhaitons apporter une réponse aux questions initialement formulées avant l'élaboration du système d'évaluation, à savoir:

- L'opération de rénovation possède-t-elle une influence (positive ou négative) sur le potentiel de valorisation initial de la paroi existante ?
- En fonction de l'objectif de valorisation poursuivi (suivant la hiérarchie d'action), quelles parois types sont-elles à privilégier ?

Nous avons effectué ces conclusions générales en considérant le bilan de volume principalement. En effet, bien que complémentaire à l'unité de poids, le volume représente, selon nous, le système de mesure le plus signifiant en terme de représentativité de chaque matière au sein de la paroi, et ce, indépendamment de leur masse volumique.

La figure ci-après illustre la synthèse des résultats obtenus par composante et reprenant, pour chaque degré de valorisation, les parois types présentant le meilleur potentiel.

Figure 4.15: Synthèse de l'évaluation de la *valorisabilité* (en volume)



P: prévention; R+: réemploi; R:recyclage; C: compostage; I: incinération
Peu de différences: peu de différences de résultats entre parois types;
≠ : fortes différences de résultats entre parois types

1. Potentiel de prévention

Classement des composantes et potentiel existant

Les composantes présentant le meilleur potentiel de prévention initial concernent la toiture à versant (avec 74%) suivie par la façade (68%) et la toiture plate (62%). Les dalles quant à elles, proposent un résultat moyen de 55%. Les résultats obtenus pour les parois projetées, bien que différents du bilan de la paroi initiale existante, présentent également les mêmes tendances.

Nous pourrions rattacher ce constat aux tendances observées dans les opérations de rénovation (voir partie 3 de cette recherche). Effectivement, la toiture (et dans une moindre mesure la façade) représente le premier élément d'action encouragé pour l'amélioration des performances énergétiques du bâtiment. En milieu urbain plus particulièrement, où la majorité des maisons sont mitoyennes, il s'agit d'une surface de déperdition importante. De plus, nous avons montré dans la troisième partie de cet ouvrage que la proportion de démolition en toiture est relativement importante comparativement aux autres composantes. Il serait dès lors plus que conseillé d'adapter les potentiels de valorisation au taux de renouvellement des composantes

de l'enveloppe, en commençant par leur potentiel de prévention.

Classement des parois

Globalement, le potentiel de prévention des parois projetées apparaît dans de nombreux cas comme supérieur au potentiel initial, exception faite de la dalle sur cave, des parois *F.exist+* et *F.neuf//exist+* pour la façade, et de *Dtp2.exist+* pour la dalle sur terre-plein.

L'intérêt de la comparaison entre composantes est également d'observer les récurrences de solutions d'amélioration selon le type considéré: parois types conservées/améliorées ou démolies/reconstruites. Ainsi, pour les composantes de façade, dalle sur cave et dalle sur terre-plein, les parois types conservées et améliorées (qualificatif *exist+* ou *exist++*) présentent les meilleurs résultats. Pour les deux composantes de toitures (plate et à versant), c'est la solution démolie/reconstruite suivant un autre mode constructif (qualificatif *neuf*) qui propose un bilan plus intéressant. Notons que si le facteur de correction est appliqué, les parois conservées et améliorées (qualificatif *exist+* ou *exist++*) sont celles qui possèdent le meilleur potentiel de prévention pour toutes les composantes de l'enveloppe.

2. Potentiel de réemploi

Classement des composantes et potentiel existant

Le potentiel de réemploi des parois existantes est particulièrement élevé pour la composante toiture à versant (88%) et pour la composante façade (81%). Le bilan pour la toiture plate est relativement moyen avec 57% et, les bilans pour les composantes dalles sont presque nuls avec 7 et 9%.

Ces résultats s'expliquent principalement par le type de matériaux utilisés et leur mode d'assemblage. Dans le cas de la toiture à versant, par exemple, l'ensemble des matériaux est potentiellement réemployable (sauf sous-toiture en film PE) et ces derniers sont fixés de manière relativement réversible (ou semi-réversible), c'est-à-dire qu'ils sont aisés à démonter. Dans le cas de la façade existante, les briques de terre cuite pleines (constituant presque l'entièreté du mur) sont également des matériaux réemployables qui sont fixés à l'aide d'un mortier à base de chaux aisément détachable (même si cela constitue une quantité de main d'oeuvre plus conséquente). Dans le cas des dalles par contre, étant donné qu'il s'agit essentiellement de dalle en béton armé, leur démontage est inenvisageable. Seule la couche de carrelage est éventuellement récupérable pour le réemploi. De nouveau, nous pouvons faire le parallèle avec la fréquence d'intervention sur ces composantes: les toitures, plus sujettes aux opérations de rénovation et d'amélioration thermique que les autres composantes, devraient présenter un potentiel de réemploi plus intéressant. C'est le cas de la paroi type existante de la toiture à versant.

Classement des parois

Par rapport aux potentiels initiaux (parois existantes), les parois types projetées des composantes de toitures, façade et dalle sur cave présentent un bilan relativement défavorable (faible à important) voire nul. Ce constat nous amène à avancer que l'intervention de rénovation énergétique telle qu'envisagée dans la proposition des parois types a tendance à porter préjudice au potentiel de réemploi initial. La composante dalle sur terre-plein fait néanmoins exception à la règle puisque ses parois projetées relèvent le niveau du potentiel de réemploi initialement très réduit.

Concernant les parois types projetées les plus « performantes » en matière de potentiel de réemploi, nous retenons que les parois conservées et améliorées (qualificatif *exist+* ou *exist++*) sont bien placées pour les composantes façade, toiture à versant[17] et dalle sur terre-plein. Les dalles sur cave et toitures plates proposent un potentiel plus élevé pour leur seconde solution de paroi démolie/reconstruite (qualificatif *neuf*). Nous souhaitons faire remarquer que dans certains cas, avec l'application du critère d'exclusion (voir méthode de comptabilisation), le potentiel de réemploi est réduit à néant: c'est le cas pour *F.neuf//exist+* en façade et, *Dc.exist+* et *Dc.neuf//exist+* pour la dalle sur cave. Notons toutefois que si le facteur de correction est appliqué, c'est systématiquement la paroi démolie/reconstruite portant le qualificatif *.neuf* qui offre le meilleur potentiel de réemploi.

3. Potentiel de recyclage

Classement des composantes et potentiel existant

Pour l'ensemble des composantes, le potentiel de recyclage des parois types existantes est relativement élevé, il est même estimé au maximum pour la dalle sur terre-plein (potentiel théorique de 100%). Ce potentiel est estimé à 97% pour la composante façade et à 92% pour la dalle sur cave. Le potentiel de recyclage des toitures est quelque peu inférieur avec 75% pour la toiture à versant et 69% pour la toiture plate.

Les composantes présentant les potentiels de recyclage les plus élevés concernent des parois contenant principalement des matériaux inertes: briques pour la façade et béton pour les dalles[18]. La plupart de ces matières inertes ont d'ailleurs subi l'application de la règle d'exception (voir méthode de comptabilisation) qui leur permet d'obtenir un score optimal malgré un manque de « séparabilité » des couches entre

17 - Pour la composante toiture à versant, le résultat de *Tv.exist+* est en fait similaire au résultat de *Tv.neuf//exist+*, il en va de même pour le potentiel de prévention (hors facteur de correction). Si le facteur de correction est appliqué, *Tv.exist+* prime en matière de prévention et *Tv.neuf//Exist+* prime en matière de réemploi.

18 - Notons que pour les dalles sur cave, l'option a été prise de la considérer en béton (comme pour les dalles sur terre-plein) mais ce type de dalle se compose dans de nombreux cas d'une structure de gîtes (poutres bois). L'évaluation de la valorisabilité se rapprochera alors plus de celle de la toiture plate.

elles. Les toitures formées de structure bois possèdent en règle générale des bilans moins intéressants même si elles ont été considérées dans une optique favorable: les éléments en bois plein sont jugés recyclables dans leur ensemble alors qu'en réalité, ce recyclage ne sera principalement effectué que dans le cas de bois non traité. Nous souhaitons également notifier que l'ensemble des matériaux a été évalué dans une démarche optimiste. De cette manière, les matériaux isolants ici concernés proposent par exemple un score moyen pour les paramètres *recyclable* et *filières*: même s'ils ne sont pas recyclés à l'heure actuelle lorsque leur provenance est le chantier, ils le sont pourtant souvent sur le site de production. Lorsque la masse critique des déchets de ce type sera suffisamment importante, des évolutions techniques significatives pourraient être attendues pour permettre leur recyclage effectif malgré leur origine (chantier).

Après rénovation, les composantes présentant les meilleurs résultats sont la façade et la dalle sur terre-plein, suivies par la dalle sur cave (à l'exception de *Dc.neuf*), la toiture plate et enfin, la toiture à versant.

Classement des parois

De manière générale, à part pour la composante toiture plate, les résultats de potentiel de recyclage obtenus par les parois projetées sont moindres que le potentiel initial. Il y a donc perte de « valeur » par rapport à ce que l'existant nous offre en matière de recyclage. En effet, nous pouvons remarquer que la composition des parois existantes se limite en général à quelques matériaux aujourd'hui déjà bien assimilés en matière de recyclage. L'opération de rénovation énergétique vient complexifier la situation par l'introduction d'une panoplie de nouveaux matériaux (nouvelles catégories) souvent plus complexes à traiter.

Quant aux types de parois préférentiels pour le potentiel de recyclage, ils concernent les parois conservées et améliorées (qualificatif *exist+* ou *exist++*) pour les composantes façade, dalle sur cave et dalle sur terre-plein. Les composantes de toiture (plate et à versant) présentent la seconde paroi démolie et reconstruite (qualificatif *neuf*) comme la plus performante. Si le facteur de correction est appliqué, le bilan penchera préférentiellement vers les solutions de démolition/reconstruction: la solution *neuf//exist+* pour la façade et la dalle sur cave et la solution *neuf* pour les autres composantes. Malgré le classement opéré et à part une exception (*Dc.neuf*), nous faisons remarquer que les différentes parois types projetées présentent en général des résultats relativement similaires entre elles: maximum 9% de différence entre le résultat le plus bas et le plus élevé.

4. Potentiel de compostage

Classement des composantes et potentiel existant

En matière de potentiel de compostage (biodégradation avec valorisation), peu de parois types existantes proposent de résultat. Les composantes de façade et de dalles (sur cave et sur terre-plein) ont un potentiel initial nul. Les composantes constituées de matériaux « biodégradables » sont rencontrées uniquement pour les parois offrant une structure en bois comme les toitures plates et à versant[19]. En ce sens, ces composantes offrent un potentiel de compostage moyen de 55% pour la toiture plate et de 66% pour la toiture à versant.

Classement des parois

Globalement, pour les bilans initiaux nuls, le potentiel des parois projetées sera soit égal au potentiel initial, soit supérieur, et ce, grâce à l'introduction de nouvelles matières biodégradables comme la cellulose et les matériaux à base de bois. Notons que la composante dalle sur cave présente un bilan nul pour toutes les parois types projetées. Concernant les potentiels des parois types projetées pour les toitures, ils s'avèrent systématiquement inférieurs au potentiel initial. Cette caractéristique s'explique également par l'introduction de divers matériaux non compostables (inertes et matières plastiques principalement) en comparaison de parois existantes essentiellement en bois (à part l'étanchéité et la couverture). En résumé, lorsque le potentiel initial est nul, l'opération de rénovation va influencer positivement ce potentiel dans le cas de certaines parois types. Alors que lorsqu'un potentiel existant est présent, l'intervention aura tendance à réduire ce potentiel initial.

Le classement des parois projetées propose la seconde solution de démolition/reconstruction (qualificatif *neuf*) comme la meilleure pour les composantes façade et toiture plate. Alors que la solution de paroi conservée et améliorée (qualificatif *exist+*) prévaut pour les composantes toiture à versant et dalle sur terre-plein. À propos de la dalle sur terre-plein, bien qu'elle soit constituée d'une dalle en béton armé, le potentiel valorisable provient des solutions (variante 1) introduisant des matériaux à base de bois (parquet, lambourdes, panneaux OSB) et des isolants naturels organiques (cellulose, liège). En ce qui concerne la façade, les parois types présentant un potentiel concernent également les parois se composant en tout (*F.neuf*) ou en partie (*F.exist++*) d'une structure bois insufflée de cellulose. L'application d'un facteur de correction n'est valable que dans le cas où un potentiel initial est présent pour la paroi existante. C'est le cas des deux composantes de toiture. La considération du facteur correctif tend à placer les solutions de parois démolies/reconstruites en tête. Comme c'était déjà le cas pour la toiture plate, seule une modification de classement

19 - Notons qu'il existe certaines dalles sur cave également constituées d'une structure de gîtes en bois mais elles n'ont pas été reprises dans les parois types initiales. Tout comme il existe aussi des toitures plates qui se composent de dalles béton, non étudiée non plus dans ce cadre.

est opérée pour la toiture à versant (*Tv.neuf//Exist+*).

5. Potentiel d'incinération

Classement des composantes et potentiel existant

Comme dans le cas du potentiel de compostage, certaines composantes présentent un bilan nul en terme de potentiel de valorisation énergétique par incinération. C'est le cas pour les parois types existantes des composantes façade et dalles (sur cave et sur terre-plein). Seules les toitures existantes proposent un potentiel initial. Il est de 66% pour la toiture à versant et 76% pour la toiture plate. Le résultat de la toiture à versant quelque peu inférieur à celui de la toiture plate est dû à la présence plus importante de matériaux inertes incombustibles (tuiles en terre cuite) alors que l'étanchéité bitumineuse de la toiture plate présente un bon pouvoir calorifique. Seule sa couche de finition intérieure (fibroplâtre) n'est pas incinérable.

De manière générale, les composantes présentant le plus de potentiel d'incinération (avec valorisation énergétique) concernent les toitures (à base de bois). Leur bilan est néanmoins moyen à supérieur: de 48 à 64% pour la toiture plate et de 45 à 51% pour la toiture à versant. Concernant les autres composantes, le bilan de potentiel d'incinération est plus mitigé: à part quelques exceptions (*F.neuf* et *Dc.neuf*), les résultats des parois types sont relativement faibles et n'excèdent pas la trentaine de pourcents.

Classement des parois

Le potentiel des parois projetées se rapportant à un bilan initial nul sera dans tous les cas supérieur au potentiel de base (existant). En effet, parmi les nombreuses nouvelles matières ajoutées aux parois figurent des matériaux aux propriétés d'incinération certaines: isolants, matériaux à base de bois, matières plastiques (en plus faibles quantités). Les matériaux bois et matières plastiques ajoutés correspondent à des pouvoirs calorifiques considérés ici comme supérieurs, alors que dans le cas des isolants, cela dépendra de la nature de ces derniers. Les isolants synthétiques (issus de la pétrochimie) comme le PUR ont un fort pouvoir calorifique alors que les isolants comme la cellulose ont un pouvoir calorifique moyen. Concernant le potentiel des parois types projetées pour lesquelles un potentiel initial existe (toitures), les performances initiales seront réduites par l'opération de rénovation: de -15% à -21% pour la toiture à versant et de -12% à -28% pour la toiture plate.

Concernant les tendances observées au niveau des résultats par paroi type, les composantes de toitures (plate et à versant[20]) et de dalle sur terre-plein proposent la solution conservée et améliorée (qualificatif *exist+*) comme la plus avantageuse en matière de potentiel d'incinération. Alors que la seconde solution de paroi démolie

20 - Toutefois, la paroi *Tv.neuf//exist+* présente un résultat similaire dans le cas de la toiture à versant.

et reconstruite (qualificatif *neuf*) apparait très nettement plus intéressante dans le cas des composantes façade et dalle sur cave. Dans le cas de la façade, cela s'explique par le fait que *F.neuf* se compose presque essentiellement de bois et d'isolant (cellulose et EPS) particulièrement combustibles comparativement aux autres parois types dont la proportion d'inertes est importante. Alors que dans le cas de *Dc.neuf*, c'est la proportion d'isolant (plus élevée que dans les autres parois types) au pouvoir calorifique important (PUR, XPS) qui influence les résultats en faveur de cette paroi.

L'application du facteur de correction se restreint aux composantes de toitures, les seules présentant un potentiel d'incinération initial. La considération de ce facteur influence le classement des parois puisque ce sont les parois démolies et reconstruites qualifiées *neuf//Exist+* qui présentent alors les résultats les plus intéressants.

5. Potentiel global

Nous pouvons observer que les résultats les plus favorables en matière de potentiel de valorisation ne sont pas aussi clairement en faveur d'une solution de conservation de la paroi, tel que nous aurions pu le supposer. En effet, même si globalement les résultats sont plutôt bons pour les parois conservées/améliorées (qualificatif *exist+ et exist++*), la troisième solution d'amélioration (qualificatif *neuf*) prend également une place importante. La répartition du classement entre ces deux types de parois varie d'une composante à une autre et d'un degré de valorisation à un autre.

Au regard des trois premiers potentiels de valorisation (les plus importants selon la hiérarchie d'action), les solutions de parois conservées et améliorées (*exist+ et exist++*) apparaissent comme étant les meilleures dans le cas des composantes de façade et de dalle sur terre-plein. Pour la dalle sur terre-plein, cette paroi est également la plus intéressante en matière de potentiel de compostage et d'incinération. Dans le cas de la façade, la paroi *F.exist++* est effectivement celle qui présente le meilleur potentiel (légèrement en concurrence avec F.neuf pour la prévention). En deuxième position, on retrouve *F.exist+* en concurrence selon les cas avec les autres parois types (*F.neuf//exist+* et *F.neuf*). Or, *F.exist+* représente la première solution de paroi conservée et améliorée, celle qui est la réelle paroi type identifiée dans les projets étudiés en partie 3. *F.exist++* est une variante que nous proposons pour identifier les possibles effets d'une technique d'amélioration différente de celle aujourd'hui couramment appliquée, et ce, pour une même performance de paroi. Les résultats obtenus montrent la prévalence de la variante proposée sur toutes les autres parois types (sauf pour les potentiels de compostage et incinération). Cela signifie qu'il est tout à fait possible d'agir pour améliorer le potentiel de valorisation par le choix des matériaux et des modes constructifs.

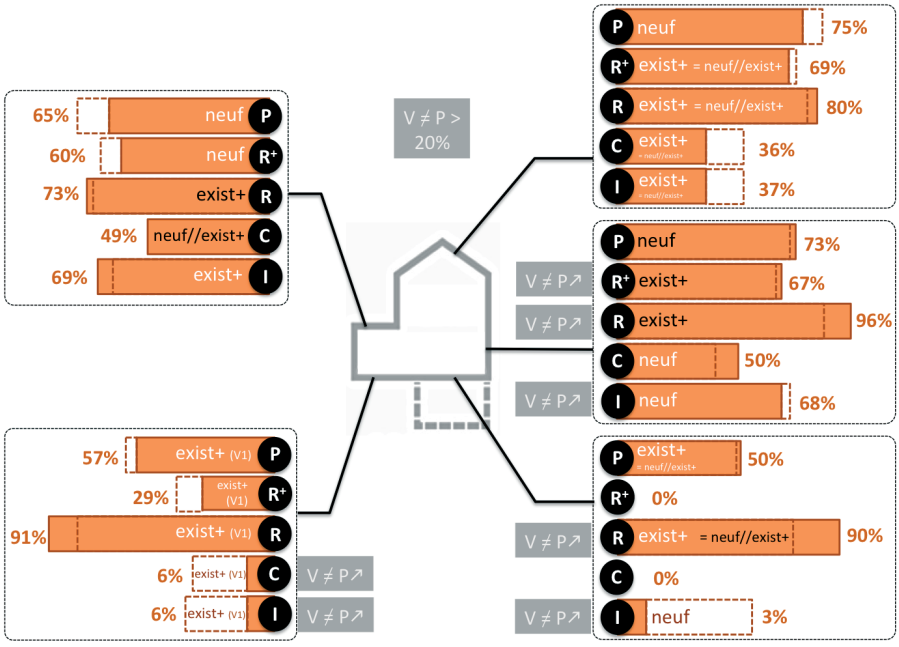
Concernant les autres composantes de l'enveloppe, les résultats sont moins clairement en faveur de la conservation et l'amélioration de l'existant. La toiture plate, par

exemple, montre plutôt un avantage pour la solution de paroi démolie/reconstruite *Tp.neuf* et ce, pour les quatre premiers degrés de valorisation. Concernant la toiture à versant, les résultats obtenus entre *Tv.exist+* et *Tv.neuf//exist+* sont identiques. Le potentiel de ces parois est intéressant dans le cas du réemploi, du compostage et de l'incinération. Pour les départager, nous nous référerons dès lors à leur bilan environnemental. Pour le potentiel de prévention et de recyclage, c'est de nouveau la troisième *Tv.neuf* solution qui se dégage. Enfin, concernant la dalle sur cave, les résultats sont également variables d'un degré de valorisation à l'autre. La solution de paroi conservée/améliorée présente un bon potentiel de prévention et de recyclage alors que *Dc.neuf* possède un meilleur résultat pour le potentiel d'incinération (résultats nuls pour le réemploi et le compostage).

Enfin, l'application du facteur de correction permet de rééquilibrer la situation en matière de potentiel de prévention puisqu'il tient compte de la conservation de la matière dans le cas de la première (et quatrième) solution de paroi (*exist+* et *exist++*). Cependant, il a également pour effet d'augmenter les autres potentiels de valorisation pour les parois démolies/reconstruites. Cela a pour conséquence que l'interprétation des résultats pourrait conclure à l'encouragement de ce type d'intervention puisqu'il présente des potentiels de valorisation accrus (somme du potentiel existant démoli et du potentiel de la nouvelle paroi). Il nous semble donc important de rappeler l'application de la hiérarchie d'action et également de mettre ces résultats en parallèle avec leur bilan environnemental. Ce sujet sera traité dans la suite de cette partie.

Par rapport aux résultats obtenus en poids, les tendances sont relativement similaires (de même qu'en cas d'application du facteur de correction). La figure ci-après, présentant les résultats obtenus en termes de poids, en témoigne. Les parois indiquées en blanc dans les bâtonnets sont celles obtenant la première place en terme de potentiel, et ce, de manière similaire à l'évaluation de volume. Celles inscrites en noir sont celles qui diffèrent (dans la première place) par rapport aux résultats de volume. Nous pouvons remarquer un changement dans l'occupation de la première place en termes de potentiel de valorisation pour la composante façade (concernant le potentiel de prévention, réemploi et recyclage) ainsi que pour la composante toiture plate (concernant le potentiel de recyclage et compostage). Par exemple, dans le cas de la façade, *F.exist++* qui présente le meilleur potentiel en volume pour les trois premiers degrés de valorisation (P,R+,R) est ici remplacé par *F.neuf* (P) et *F.exist+* (R+,R) lorsque l'unité de poids est considérée. Le schéma illustre également la valorisabilité en volume (bâtonnets en trait tillé) afin d'identifier les différences globales de potentiel entre ces deux unités. Nous pouvons remarquer qu'à part dans le cas de la façade et dans le cas du potentiel de recyclage, il existe une perte de potentiel en poids par rapport à l'unité de volume. Les degrés de valorisation marqués d'un « V ≠ P » présentent des différences de résultats importantes entre les deux unités: plus de 20% pour une même paroi.

Figure 4.16: Synthèse de l'évaluation de la *valorisabilité* (en poids)



P: prévention; R+: réemploi; R:recyclage; C: compostage; I: incinération
V ≠ P: présence d'une forte différence de résultats entre volume et poids pour certaines parois types

4.4. ÉCOBILAN DES ÉLÉMENTS CONSTRUITS: ÉVALUATION QUANTITATIVE DES PAROIS

4.4.1. Méthodologie proposée

Objectifs

L'objectif de cette évaluation environnementale est de compléter l'évaluation qualitative de la *valorisabilité* des parois types préalablement réalisée par une évaluation d'ordre quantitatif. La mise en parallèle des évaluations qualitative et quantitative permet d'enrichir l'interprétation des résultats par l'approche complémentaire que constituent ces analyses. De plus, l'écobilan des parois nous permet également de mettre en exergue l'impact des différentes solutions d'amélioration de l'enveloppe qui s'offre à l'architecte lors de toute rénovation énergétique.

Le bilan environnemental proposé est néanmoins limité à l'étude de quelques indicateurs et phases du cycle de vie que nous spécifierons ci-après. L'analyse est réalisée

sur les mêmes parois types que celles définies et étudiées précédemment. Un croisement des résultats avec ceux obtenus pour la *valorisabilité* (concordances, différences, oppositions) est opéré dans le chapitre qui suit.

Outil utilisé

Pour l'évaluation, nous nous sommes basés sur l'outil développé par Sophie TRACHTE dans sa thèse de doctorat [TRACHTE, 2012]. L'objectif de cet outil est d'analyser les composantes du bâtiment sur l'ensemble des phases du cycle de vie de ce dernier: fabrication, mise en oeuvre, rénovation, fin de vie. Les critères et indicateurs considérés par l'outil sont à la fois d'ordre quantitatif et qualitatif. Ils sont classés selon cinq catégories:

- économie des ressources énergétiques (énergie grise, NRE, transport)
- économie des ressources non énergétiques (disponibilité/rareté et nature des ressources: naturelle, synthétique, recyclée, renouvelable ou non)
- maîtrise des impacts sur l'environnement (potentiel d'effet de serre, d'acidification, de formation d'ozone troposphérique, transport et pollution atmosphérique)
- maîtrise des impacts sur la santé (substances et émissions toxiques pour la santé, nuisances lors de la mise en oeuvre)
- fin de vie et potentiel de recyclage

Les critères quantitatifs reprennent l'énergie grise (EG), la consommation en énergie non renouvelable (NRE), le potentiel d'effet de serre (GES), d'acidification et de formation d'ozone troposphérique. Concernant ces informations quantitatives, l'outil repose principalement sur trois bases de données distinctes: KBOB (Koordinationskonferenz der Bau-und Liegenschaftsorgane der Offentlichen Bauherren), ECOSOFT (logiciel autrichien développé par IBO) et ECOINVENT (inventaire suisse). Partant de ces bases de données, la méthodologie proposée par l'outil considère la compilation de résultats suivante:

- lorsque les trois bases de données présentent un résultat, c'est la base de données la plus proche de la moyenne des résultats obtenus qui est considérée.
- si les résultats sont référencés seulement dans deux des trois bases de données, c'est le résultat le plus « favorable » qui est pris en compte par défaut.
- enfin, si une seule base de données présente un résultat, c'est ce résultat qui est considéré.

Pour notre évaluation, nous nous baserons principalement sur les données quantitatives proposées par l'outil en considérant trois indicateurs distincts que nous expliciterons ci-après.

Approche et hypothèses

L'outil n'ayant pas été développé exactement aux fins poursuivies dans ce chapitre, nous avons émis une série d'hypothèses et avons retravaillé les graphiques fournis par l'outil en fonction des objectifs que nous voulions rencontrer.

1. Nous nous sommes basés sur une durée de vie totale du bâtiment de 50 ans ce qui semble peu au regard de l'ancienneté des bâtiments étudiés, mais qui correspond aux durées de vie couramment usitées dans les calculs d'impact environnemental de parois.
2. Les bâtiments étudiés sont antérieurs à 1945, c'est-à-dire qu'ils ont au moins plus de 70 ans d'ancienneté (voire souvent plus): nous émettons l'hypothèse que les impacts environnementaux liés à la fabrication des matières existantes mises en œuvre sont amortis. Ces impacts sont cependant représentés dans les graphes (en grisé), car il est important de se rendre compte de la 'valeur' de la matière mise en œuvre en ce qu'elle a coûté initialement à sa fabrication. Ces données nous permettent également de pouvoir faire la comparaison globale entre une paroi existante conservée et améliorée et une paroi démolie et reconstruite.
3. Nous avons considéré les couches de finition avec une durée de vie supérieure à celle automatiquement fournie par l'outil. En effet, bien que les matières utilisées (plafonnage, plaques de carton-plâtre, etc.) soient annoncées avec des durées de vie de 10 à 30 ans, le plus souvent ces dernières ne font l'objet de démolition que lorsque de gros travaux de transformation/rénovation sont prévus dans le bâtiment et dont la fréquence avoisine les 50 ans plutôt que les 10 à 30 ans.

Pour chaque composante de l'enveloppe, trois cas d'étude de parois performantes sont proposés partant de la paroi existante type initiale indiquée P.exist (voir premier chapitre de cette partie). Toutes les parois projetées présentent la même valeur de coefficient U. Les trois propositions se présentent comme suit:

- paroi existante améliorée: indiquée P.exist+ (1)
- paroi existante démolie et reconstruite à l'« identique »: indiquée P.neuf//exist+ (2)
- paroi existante démolie et reconstruite avec un autre système constructif: indiquée P.neuf (3)

Pour ces différentes parois types, nous avons tenté de faire correspondre au maximum les couches, mais la concordance entre couches n'est pas systématiquement réalisée. En effet, elles diffèrent le plus souvent entre les parois (1) (2) et la paroi (3) puisque cette dernière propose un système constructif et des matériaux différents. Nous précisons que l'objectif de cette évaluation n'est pas de comparer différents choix de matériaux au niveau environnemental, mais de comparer l'impact de conserver ou démolir et de confronter ces résultats à l'évaluation qualitative de la

valorisabilité des parois réalisée précédemment. L'interprétation des résultats sera donc réalisée en conséquence et les comparaisons entre les matériaux des parois (1) (2) et la paroi (3) sont donc à considérer avec certaines précautions.
Nous avons limité notre analyse à l'étude de **3 indicateurs** d'impacts distincts, les plus couramment usités dans la vulgarisation des impacts environnementaux auprès des architectes. Les résultats de ces indicateurs sont toujours indiqués en considérant un mètre carré de paroi.

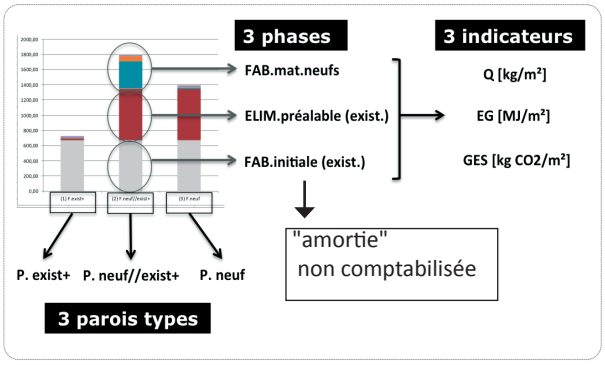
- la quantité de matière (Q) en kg/m^2
- l'énergie grise (EG) en MJ/m^2
- les gaz à effet de serre (GES) en kg.CO_2/m^2

Sur base des données et résultats chiffrés fournis par l'outil, nous avons retravaillé la représentation des résultats afin qu'ils répondent au mieux aux objectifs énoncés. L'approche proposée est la suivante :

1. pour chacun des indicateurs, nous avons considéré les impacts liés à la phase de **fabrication initiale** de la paroi existante. Comme indiqué précédemment, bien que nous émettons l'hypothèse que l'investissement de base soit amorti après autant d'années, il nous apparaît essentiel de faire apparaître ces valeurs pour deux raisons : les impacts initiaux liés à la fabrication des matériaux existants ne sont pas négligeables, ensuite démolir ces matières construites sans qu'une raison d'état ou de stabilité ne le justifie représente une « perte » liée à l'énergie et aux impacts initialement consentis pour leur fabrication.
2. nous avons ensuite comptabilisé les impacts liés à l'**élimination préalable** des couches existantes.
3. nous avons enfin considéré les impacts liés à la **fabrication** des nouveaux matériaux mis en œuvre. Dans le cas de la paroi améliorée, nous économiserons donc sur la phase de fabrication des éléments existants conservés.

Le mode de lecture des résultats d'écobilan a donc été retravaillé et est repris de la manière suivante dans notre analyse:

Figure 4.17: Indicateurs, Phases et Parois types considérés et mode de lecture des résultats d'écobilan



Notons qu'une variante supplémentaire de paroi est proposée dans le cas de la composante *façade*. Cette solution alternative d'amélioration est élaborée dans l'optique de pouvoir observer l'influence d'un choix d'intervention différent de ceux dégagés dans les projets analysés en partie 3. Nous nommons cette paroi type alternative: P. exist++. Elle est identique à celle proposée dans le chapitre sur la *valorisabilité*.

Limite de l'approche

La première limite de l'approche ici proposée est sans doute le nombre d'indicateurs considérés. En effet, l'évaluation des impacts environnementaux considère en général une multitude d'autres indicateurs tels que l'acidification, l'ozone troposphérique, l'eutrophisation, l'ozone stratosphérique, la toxicité sur l'homme et sur l'environnement, la réduction de la biodiversité, l'utilisation en eau, l'exploitation des ressources naturelles et du territoire, etc. En effet, l'impact environnemental peut difficilement être évalué de manière globale uniquement en considérant un ou deux indicateurs. Il existe par ailleurs de nombreux outils permettant le calcul de ces impacts via l'analyse du cycle de vie (LCA): Bauteilkatalog et ECO-BAT (CH), ECOSOFT (A), COCON et ÉLODIE (FR), ENVEST et Green Guide (GB), Nibe (NL), ou encore BeGlobal (B), etc. [TRACHTE, 2012]. Cependant, l'interprétation de la multitude de résultats peut s'avérer fastidieuse, voire carrément opaque, pour la majorité des concepteurs et maîtres d'ouvrage. En ce sens, une étude a été réalisée par l'OVAM afin de monétariser et d'agréger une majorité de ces données et indicateurs sous forme de coûts environnementaux (€) pour une série d'éléments de construction [OVAM, 2013]. En outre, dans le cadre du concours BATEX, le guide hollandais Nibe est sans doute l'outil le plus employé par les architectes, car il est relativement simple d'utilisation: les impacts de chaque matériau sont agrégés en un résultat s'inscrivant dans une grille de classement proposé par le guide. Même si ce type d'outil semble plus appréhendable pour les concepteurs, les méthodes d'agrégation des résultats restent discutables, surtout si ces dernières ne sont pas explicitées clairement. De plus, concernant le Nibe, les variations importantes de résultats pour un même matériau d'édition en édition nous amènent à nous questionner sur l'objectivité réelle des données transmises.

Le choix des trois indicateurs retenus s'est donc imposé pour deux raisons. D'une part, notre objectif n'est pas de réaliser une étude environnementale d'éléments de construction, mais bien d'évaluer leur potentiel de valorisation. L'étude de leurs impacts environnementaux constitue donc un plus qui nous permet de compléter notre approche par une évaluation d'ordre plus quantitatif. D'autre part, notre choix s'est porté sur les indicateurs qui nous apparaissaient comme les plus appréhendables pour les concepteurs: quantité, énergie grise et gaz à effet de serre. L'outil BeGlobal développé par la pmp (Plateforme Maison Passive) pour les architectes (et les autres acteurs du secteur) propose d'ailleurs de considérer ces deux derniers indicateurs (EG, GES) pour l'analyse du cycle de vie du bâtiment, et ce, de manière complémen-

taire à l'outil phpp (outil essentiel et nécessaire à la certification du passif)[21].

Une seconde limite de l'approche proposée concerne sans doute la durée de vie et les phases considérées. En effet, dans notre évaluation, nous avons uniformisé à 50 ans la durée de vie pour tous les matériaux contenus dans la paroi. Les phases étudiées représentent quant à elles l'étape de fabrication initiale, l'élimination de l'existant (dans les cas des démolition/reconstruction) et la phase de fabrication des matériaux neufs. Cela signifie qu'aucun renouvellement n'a été comptabilisé dans le bilan environnemental. Or, le remplacement des matériaux comprenant la question de l'adéquation entre leur durée de vie et leur fonction peut avoir un impact considérable sur la génération de déchets. Cependant, la question de la durée de vie est une question complexe. Prenons l'exemple des matériaux isolants incorporés dans l'épaisseur de la structure (structures bois essentiellement): la structure présente une durée de vie bien supérieure à celle de l'isolant. Dès lors, à la fin de vie annoncée du matériau isolant, l'ensemble des couches extérieures et intérieures devrait être démonté ou démoli pour permettre son remplacement avec pour conséquence une production plus ou moins importante de déchets selon le mode constructif et le type d'assemblage utilisés. Or, une telle opération sera-t-elle réellement conduite dès la « fin » de la durée de vie annoncée de l'isolant ? Si l'isolant est bien protégé et n'a pas subi d'altération, ne peut-il pas voir sa durée de vie prolongée ? Mais comment savoir si l'isolant n'a pas été altéré, par des agents extérieurs (insectes, humidité...)ou dans ses performances thermiques. La question s'applique aussi à la structure: si aucune dégradation n'a été opérée, la structure ne peut-elle pas aller au-delà de sa durée de vie annoncée de 50 ans ? C'est en tous cas le cas des bâtiments existants étudiés, qui présentent des durées de vie proches des 100 ans. La question de la durée de vie des éléments de construction est donc une question complexe. La durée de vie « réelle » des matériaux est une problématique qui mériterait un travail important de recherche et qui dépend de nombreux facteurs imprédictibles [BRAND, 1994].

4.4.2. Évaluation environnementale des parois types: résultats

Pour chaque composante de l'enveloppe, nous présenterons d'abord les différentes couches de matériaux composant les parois types et telles qu'elles sont encodées dans l'outil d'évaluation. Cette démarche facilitera l'interprétation des résultats pour les indicateurs de quantité de matière (Q), d'énergie grise (EG) et de gaz à effet de serre (GES). Concernant les tableaux de composition de parois, les éléments figurant en gras représentent les matériaux existants conservés. Certaines couches sont laissées vides. Le but de ces « vides » était de pouvoir faire correspondre certains matériaux d'une paroi à l'autre, cette approche n'est néanmoins pas applicable dans tous les cas. Concernant les graphiques présentés, les totaux exprimés au sommet des bâtonnets correspondent à la somme de la phase d'élimination de l'existant *ELIM.exist*

21 - Les informations (méthodologie) ainsi que l'outil, téléchargeable gratuitement, sont disponibles sur: http://www.be-global.be

(en rouge) et de la phase de fabrication des matériaux neufs mis en oeuvre *FAB.neuf* (autres couleurs). Selon, l'hypothèse de travail expliquée précédemment, la phase de fabrication initiale (*FAB.exist*) est considérée comme amortie et n'est donc pas additionnée. Néanmoins, les données d'impact sont reprises à titre informatif dans les bâtonnets en gris clair. Nous voulions montrer l'impact initial concédé à la phase de fabrication de la paroi existante. Cette donnée pourrait engendrer une certaine conscientisation des architectes et maîtres d'ouvrage. Nous pourrions même avancer que les parois existantes présentant un impact de fabrication initiale conséquent devraient d'autant plus être conservées plutôt que d'être démolies puisqu'elles ont « coûté » cher au départ d'un point de vue environnemental.

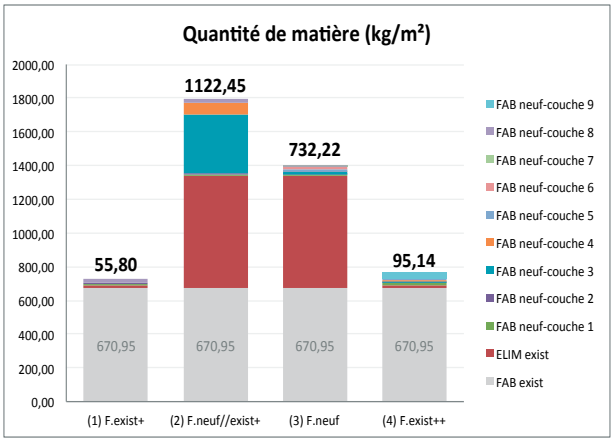
Façades

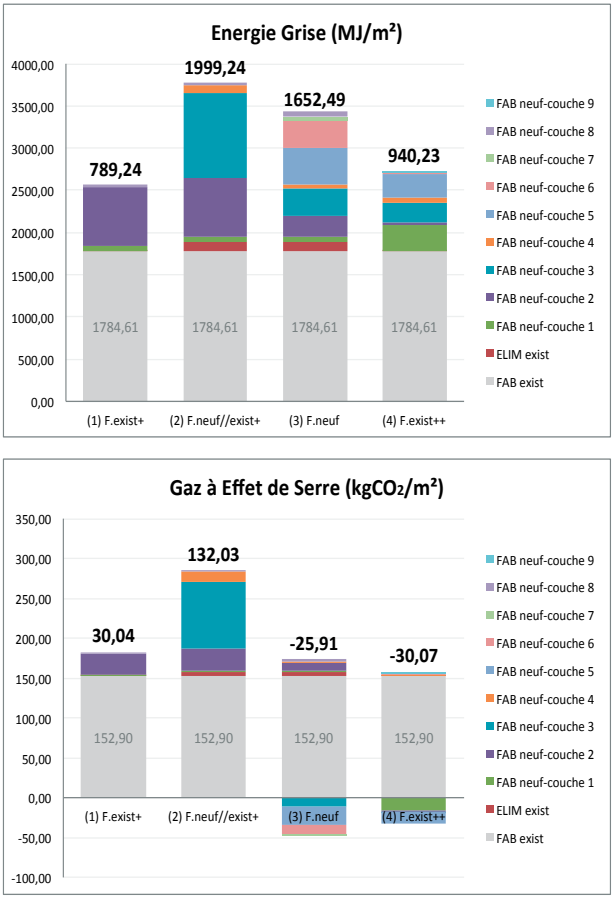
Composition

Tableau 4.33: Composition des parois types: Façade

	F.exist+	F.neuf//exist+	F.neuf	F.exist++
Couche 1	Enduit synth	Enduit synth	Enduit synth	Bardage bois
Couche 2	Eps Le	Eps Le	Eps Le	Lattage bois
Couche 3	**Brique TC**	Blocs TC	OSB	Pare-pluie (fdb bit.)
Couche 4	**Mortier b.** Ls	Mortier c. Ls	Cellulose Ls	Cellulose
Couche 5	-	-	Poutre bois	Poutre bois
Couche 6	-	-	OSB	Frein-vapeur (PE)
Couche 7	-	-	Lattage bois	**Brique TC**
Couche 8	Enduit plâtre Li	Enduit plâtre Li	Plaque carton-plâtre Li	**Mortier b.** Ls
Couche 9				Enduit argile Li

Figure 4.18: Écobilan Façade (suivant les 3 indicateurs prédéfinis)





Impacts en terme de quantité de matière

Dans le cas des parois améliorées (**F.exist+** et **F.exist++**), le mur existant est conservé et seule la couche d'enduit intérieur est démolie et reconstruite. Les quantités de matière engendrées (IN/OUT) par la rénovation vont donc être réduites comparativement aux deux autres solutions. En effet, sur le graphique, nous pouvons remarquer l'impact considérable d'une démolition complète préalable de la paroi en termes de quantités de matières ou déchets à évacuer. Cette quantité liée à l'élimination est représentée en rouge sur le graphique, elle constitue 670,95 kg/m^2 dans le cas des parois démolies/reconstruites (**F.neuf//exist+** et **F.neuf**).

À cette production de « déchets » (flux OUT), il faut ajouter les quantités de matériaux neufs à amener sur chantier (flux IN). La paroi reconstruite à l'identique (F.neuf//exist+) présente dans ce cas une quantité plus conséquente de matière à apporter par rapport à la paroi en structure bois (F.neuf) ou même aux parois amé-

liorées. L'explication se situe bien évidemment au niveau du poids des matériaux mis en œuvre : une solution de paroi dite 'lourde' (maçonnerie ou couche 3 représentée en bleu sur le graphe) aura forcément plus d'impact qu'une structure 'légère' (bois). Sachant que le transport représente un impact considérable au niveau environnemental [TRACHTE, 2012], cette information possède toute son importance. Notons toutefois qu'outre le poids des matériaux (ou quantité de matière par m^2 ici communiquée), l'impact du transport dépendra bien évidemment de la provenance des matériaux et donc du nombre de km parcourus et du mode de transport utilisé.

Impacts en terme d'énergie grise

Les résultats globaux montrent que la deuxième paroi (F.neuf//exist+) présente le bilan le plus défavorable, suivie par la troisième paroi (F.neuf) puis la paroi améliorée alternative (Fexist++) avant la paroi améliorée type (F.exist+). Dans tous les cas, l'impact de l'élimination (en rouge) est relativement réduit.

Concernant la paroi améliorée **F.exist+**, l'impact principal est lié à la fabrication de l'isolant en polystyrène expansé (en mauve foncé). Ce dernier a également un impact non négligeable dans le bilan de la paroi **F.neuf//exist+**, mais la maçonnerie constitue cependant la part d'énergie grise principale de cette paroi type (en bleu turquoise). Concernant la paroi **F.neuf,** la répartition des impacts liés à l'énergie grise est plus nuancée : les principaux impacts sont liés à la couche 5 (poutre en bois massif), les couches 3 et 6 (panneaux OSB) et la couche 2 (isolant EPS). Notons qu'il est possible d'agir sur l'énergie grise et d'en réduire l'impact (surtout en ce qui concerne F. exist+ et F.neuf//exist+) en considérant d'autres types de matériaux isolants moins impactants que l'EPS. Enfin, l'énergie grise de la paroi alternative **F.exist++** se répartit principalement entre le bardage bois (couche 1 en vert), le panneau pare-pluie en fibre de bois bitumé (couche 3 en turquoise) et la contrestructure en bois apposée au mur existant (couche 5 en bleu mauve).

Impacts en terme de gaz à effet de serre

Globalement, les bilans les plus favorables concernent les troisième et quatrième parois (F.neuf et F.exist++) suivies par la paroi F. exist+ et enfin la paroi F.neuf//exist+. Cela s'explique par le fait que le bois (constituant les couches 3,5 et 6 de F.neuf et les couches 1,2 et 5 de F. exist++), est considéré comme un matériau stockant le CO_2. C'est pourquoi ces parois présentent des résultats 'négatifs'. Or, nous tenons compte d'une analyse cradle to gate pour les matériaux neufs mis en œuvre (FAB.neuf). Cela signifie que la phase d'élimination de ces éléments en bois n'est pas représentée dans le graphique. Dès lors, il nous semble important de faire remarquer que, ces éléments étant la plupart du temps incinérés en fin de vie (valorisation énergétique), le CO_2 initialement stocké dans le bois est alors rejeté lors du processus de traitement. Il s'agit en effet de la valorisation actuellement la plus usitée pour des maté-

riaux bois de démolition (et bois traité de manière générale).

Concernant la paroi **F.neuf//exist+** qui possède le bilan le plus défavorable, la phase de fabrication des blocs en terre cuite (couche 3 en bleu turquoise) est responsable de la part la plus importante de production de GES, suivie par la fabrication de l'isolant en EPS (couche2 en mauve). Pour **F.exist+**, l'EPS présente par contre la part la plus importante en termes de production de GES. Comme spécifié précédemment, notons qu'il est possible de diminuer ces impacts en agissant sur le choix du matériau isolant. Dans le cas des deux autres parois types (**F.neuf et F.exist++**), les matériaux à base de bois seront dans les résultats négatifs qui contrebalancent les résultats des autres couches de matériaux en présence.

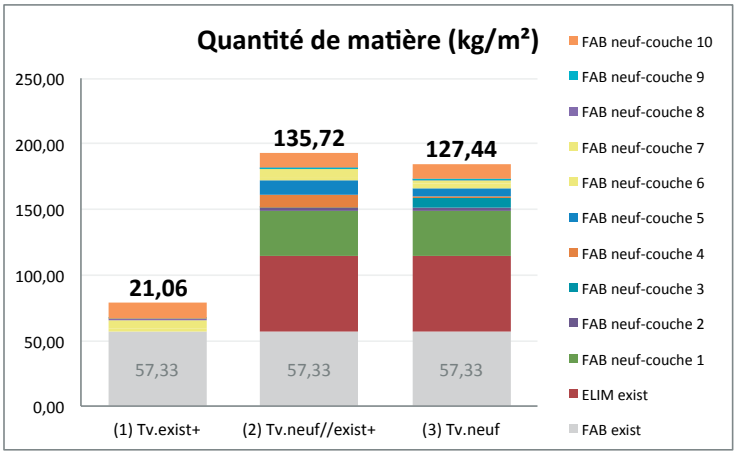
Toitures à versant

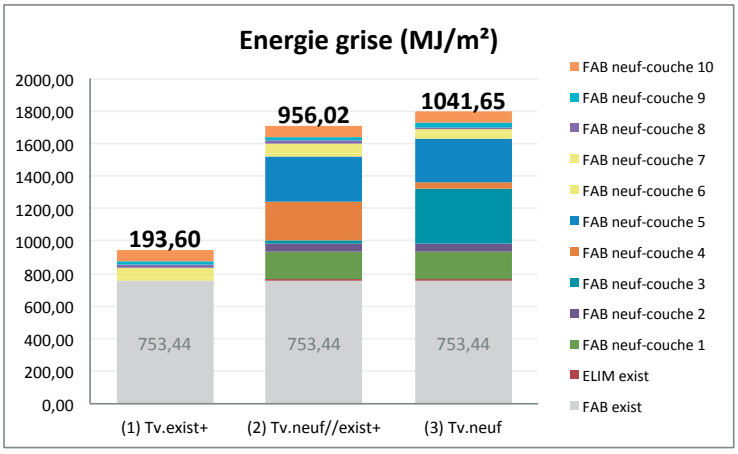
Composition

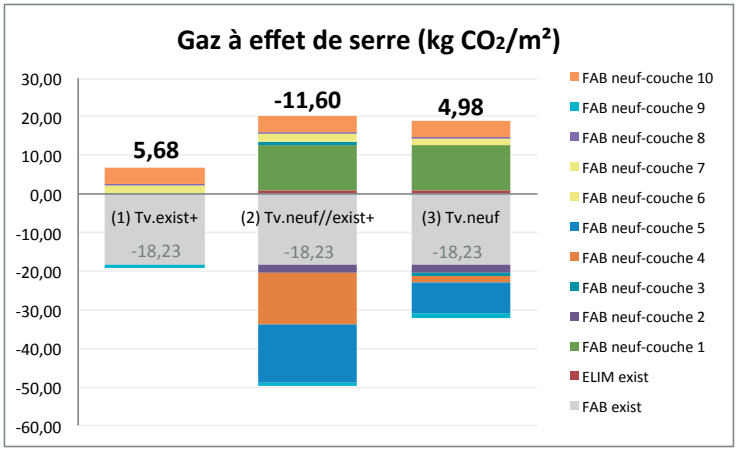
Tableau 4.34: Composition des parois types: Toiture à versant

	Tv.exist+		Tv.neuf//exist+		Tv.neuf	
Couche 1	**Tuile TC**		Tuile TC		Tuile TC	
Couche 2	**Lattage bois**	Le	Lattage bois	Le	Lattage bois	Le
Couche 3	**Pare-vapeur**		Pare-vapeur		Ss-toiture fdb	
Couche 4	**Chevrons Bois**	Ls	Chevrons Bois	Ls	FJI (OSB)	Ls
Couche 5	**Pannes bois**		Pannes bois		FJI (multiplex)	
Couche 6	Cellulose		Cellulose		Cellulose	
Couche 7	-		-		Cellulose	
Couche 8	Frein-vapeur		Frein-vapeur		Frein-vapeur	
Couche 9	Lattage bois		Lattage bois		Lattage bois	
Couche 10	Plaque carton-plâtre	Li	Plaque carton-plâtre	Li	Plaque carton-plâtre	Li

Figure 4.19: Écobilan Toiture à versant (suivant les 3 indicateurs prédéfinis)







Impacts en terme de quantité de matière

Les résultats globaux annoncent la seconde solution Tv.neuf//exist+ comme étant la plus « consommatrice » de matière (en poids) suivie de près par la solution de paroi neuve en structure FJI. La paroi conservée et améliorée montre quant à elle une quantité de matière près de 14 fois inférieure à la plus mauvaise solution (2). La phase de démolition préalable (en rouge) joue évidemment un rôle prépondérant dans le cas des parois neuves.

Les impacts en termes de quantité de matière de la solution améliorée **Tv.exist+** sont forcément dus à la cellulose puisque peu de matières autres sont ajoutées. Concernant les deux autres parois analysées, ce sont les tuiles en terre cuite qui jouent le rôle le plus conséquent (sans compter la phase d'élimination préalable). Dans le

cas de la paroi **T.neuf//exist+**, les autres impacts se répartissent de la manière décroissante suivante: plaque de carton-plâtre (couche 10 en orange), structure bois (pannes et chevrons) et cellulose. (en jaune) Alors que dans le cas de la paroi **Tv.neuf**, l'impact des tuiles est suivi par celui des couches 3 (pare-pluie en fibre de bois bitumé), 5 (multiplex contenu dans la poutre FJI) et 10 (plaque carton-plâtre en orange) et un peu la cellulose (en jaune).

Impacts en terme d'énergie grise

Comme dans le cas de la composante façade, l'énergie grise liée à la phase d'élimination de l'existant n'a quasiment pas d'impact dans le bilan total. Elle ne représente en effet ici que quelque MJ/m^2 contre un peu plus de 100 MJ/m^2 dans le cas des parois (2) et (3) de la composante façade. Dans ce cas particulier de la toiture à versant, c'est la solution de paroi **Tv.neuf** qui présente l'impact le plus important avec 85 MJ/m^2 de plus que la solution **Tv.neuf//exist+** et un résultat plus de neuf fois plus grand que dans le cas de la solution existante améliorée **Tv.exist+**.

Les impacts sont de manière générale relativement répartis entre les différentes matières contenues dans les parois. Notons toutefois que dans le cas de **Tv.exist+**, les plaques de carton-plâtre (orange) et l'isolant à base de cellulose (jaune) sont les couches les plus impactantes. Concernant **Tv.neuf//exist+**, les matériaux présentant le plus d'influence concernent la structure bois (pannes et chevrons: couches 5 et 4), suivie par les tuiles en terre-cuite (couche 1), la cellulose (couches 6 et 7) et les plaques en carton-plâtre (couche 10). Enfin, l'énergie grise comptabilisée pour **Tv.neuf** provient essentiellement du panneau pare-pluie en fibre de bois bituminé (couche 3) suivi par le multiplex utilisé dans les poutres FJI (couche 5) et les tuiles (couche 1).

Impacts en terme de gaz à effet de serre

De façon générale, le potentiel de gaz à effet de serre calculé dans le cas de cette composante toiture présente des résultats plutôt « avantageux » (données négatives). Nous avons brièvement expliqué ce phénomène précédemment dans le cas de la façade: les matériaux à base de bois sont considérés comme des stocks de CO_2, mais ils restituent potentiellement ce dioxyde de carbone en fin de vie quand ils sont brûlés. Le résultat est que la paroi conservée et améliorée **Tv.exist+** présente le bilan le plus défavorable en termes de gaz à effet de serre, suivie de justesse par **Tv.neuf** alors que **Tv.neuf//exist+** propose un résultat « négatif » et donc très favorable! La dérive que peut avoir ce type de résultats est d'interpréter une démolition/reconstruction comme plus intéressante qu'une paroi conservée et améliorée, de par le stock de CO_2 que ces nouvelles matières à base de bois représentent. Cette interprétation est plus que trompeuse sachant que les déchets de bois engendrés par la démolition/reconstruction de la structure existante sont à l'heure actuelle le

plus souvent conduits vers l'incinérateur avec tous les effets néfastes de ce type de traitement sur la pollution de l'air. Il apparaît étonnant que ces résultats ne soient pas plus reflétés dans la phase de démolition préalable évaluée et représentée en rouge. En effet, cette phase a un impact minimal dans le graphe.

Pour nuancer quelque peu les résultats proposés dans ce graphique, il faut considérer la méthodologie d'évaluation utilisée dans l'outil d'écobilan et les différentes bases de données utilisées (KBOB, ECOSOFT et ECOINVENT). En effet, comme mentionné précédemment, la méthodologie développée dans l'outil propose la démarche suivante:

- lorsque les trois bases de données présentent un résultat, c'est la base de données la plus proche de la moyenne des résultats obtenus qui est considérée.
- si les résultats sont référencés seulement dans deux des trois bases de données, c'est le résultat le plus « favorable » qui est pris en compte par défaut.
- enfin, si une seule base de données présente un résultat, c'est ce résultat qui est considéré.

Ensuite, concernant les données liées au matériau bois plus spécifiquement, certaines bases de données (principalement KBOB et ECOSOFT) favorisent nettement le recyclage à l'incinération en fin de vie. Cette approche explique en grande partie le faible impact de la phase d'élimination dans le graphique. Si ce bois de démolition venait à être incinéré, il faudrait plutôt procéder comme suit:

- considérer le stock de dioxyde de carbone de l'existant conservé pour la paroi Tv.exist+ (-18,23),
- et l'ajouter (+18,23) aux deux autres parois qui proposent une démolition préalable de la structure bois et un remplacement de cette dernière. Les résultats auront alors tendance à s'annuler, surtout dans le cas de Tv.neuf//exist+.

Concernant les autres matériaux responsables potentiellement de la production de gaz à effet de serre, ils concernent essentiellement les tuiles en terre cuite pour Tv.neuf//exist+ et Tv.neuf et la production de plaque de carton-plâtre dans le cas des trois solutions d'amélioration considérées.

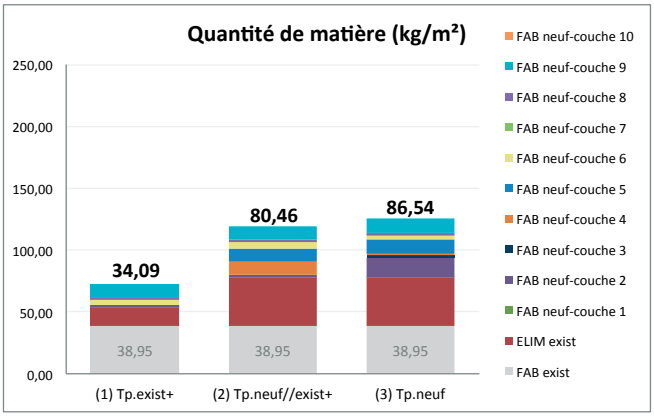
Toitures plates

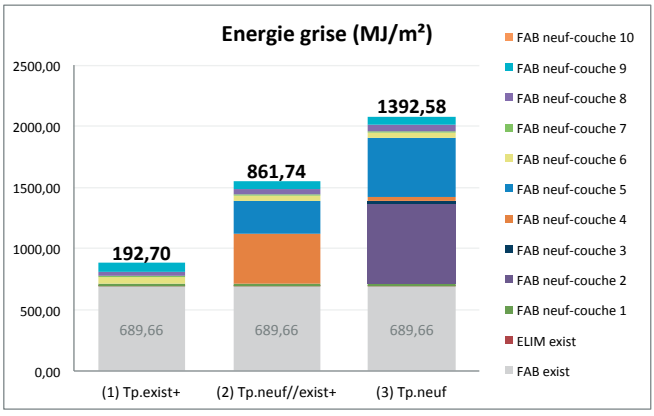
Composition

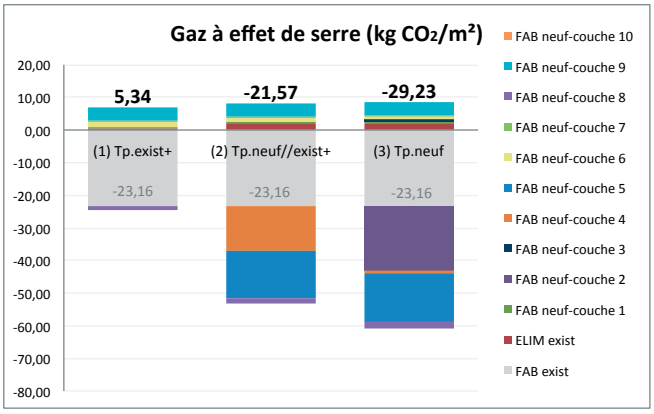
Tableau 4.35: Composition des parois types: Toiture plate

	Tp.exist+	Tp.neuf//exist+	Tp.neuf
Couche 1	Etanchéité EPDM	Etanchéité EPDM	Etanchéité EPDM
Couche 2	Résol	Résol Le	Multiplex Le
Couche 3	**Etanchéité bitumineuse** Le	-	Cellulose
Couche 4	**Lattage bois plein**	Panneau OSB	FJI (OSB)
Couche 5	**Gîtes bois**	Gîtes bois	FJI (multiplex)
Couche 6	Cellulose	Cellulose	Cellulose
Couche 7	Frein-vapeur Ls	Frein-vapeur Ls	Frein-vapeur Ls
Couche 8	Lattage bois	Lattage bois	Lattage bois
Couche 9	Plaque carton-plâtre Li	Plaque carton-plâtre Li	Plaque carton-plâtre Li
Couche 10	~~**Plaque fibro-plâtre**~~	-	-

Figure 4.20: Écobilan Toiture plate (suivant les 3 indicateurs prédéfinis)







Impacts en terme de quantité de matière

Les solutions **Tp.neuf** et **Tp.neuf//exist+** montrent des résultats relativement similaires qui sont environ deux fois et demi supérieurs à la quantité de matière engendrée dans le cas conservé/amélioré (**Tp exist+**). Outre l'impact important de la démolition (près de la moitié du bilan pour chacune des trois parois), ce sont les plaques de finition en carton-plâtre (couche 9 en bleu turquoise), les éléments en bois (couches 4 et 5) et multiplex (couches 2 et 5) qui représentent la majeure partie du bilan quantité de matière, et ce, de manière relativement équivalente. La cellulose en jaune a relativement peu d'impact.

Impacts en terme d'énergie grise

Encore une fois, l'énergie grise liée à la phase d'élimination de l'existant a très peu d'impact dans le bilan total: quelque MJ/m^2 comme dans le cas de la toiture à versant. **Tp.neuf** est la paroi qui présente l'impact le plus important, soit 530 MJ/m^2 de plus que la solution **Tp.neuf//exist+** et un résultat plus de sept fois plus grand que pour **Tp exist+**.

Dans le cas de **Tp.exist+**, ce sont les plaques de carton-plâtre (couche 9 en bleu turquoise), l'isolant à base de cellulose (en jaune) et dans une moindre mesure, le lattage bois qui sont principalement responsables des résultats obtenus. Pour **Tp.neuf//exist+**, les panneaux OSB (couche 4 en orange) ainsi que la structure bois (couche 5 en bleu) sont de loin les plus impactants comparativement aux autres couches. Enfin, concernant l'énergie grise comptabilisée pour **Tp.neuf**, elle provient principalement des panneaux multiplex utilisés pour le support ou dans la structure FJI (couches 2 et 5).

Impacts en terme de gaz à effet de serre

Plus encore que dans le cas de la toiture à versant, les résultats obtenus pour l'indicateur gaz à effet de serre se présentent de manière avantageuse pour les solutions de démolition/reconstruction. En effet, alors que la paroi améliorée Tp.exist+ propose un bilan légèrement supérieur à zéro, les deux autres parois ont un bilan négatif (c'est-à-dire en dessous de zéro) relativement similaire et cinq à six fois inférieur à la paroi conservée et améliorée. Ce phénomène (résultat négatif) est caractéristique des matériaux à base de bois. Ainsi, nous retrouvons les gîtes, poutres, panneaux et lattages bois dans les résultats en dessous de zéro et les autres matériaux dans le bilan supérieur à zéro.

Comme pour la composante toiture à versant, pour laquelle nous avons discuté et nuancé l'interprétation des résultats, nous tenons à préciser que ces données sont à considérer avec précaution et qu'elles sont dépendantes de la méthodologie appliquée et des bases de données de référence.

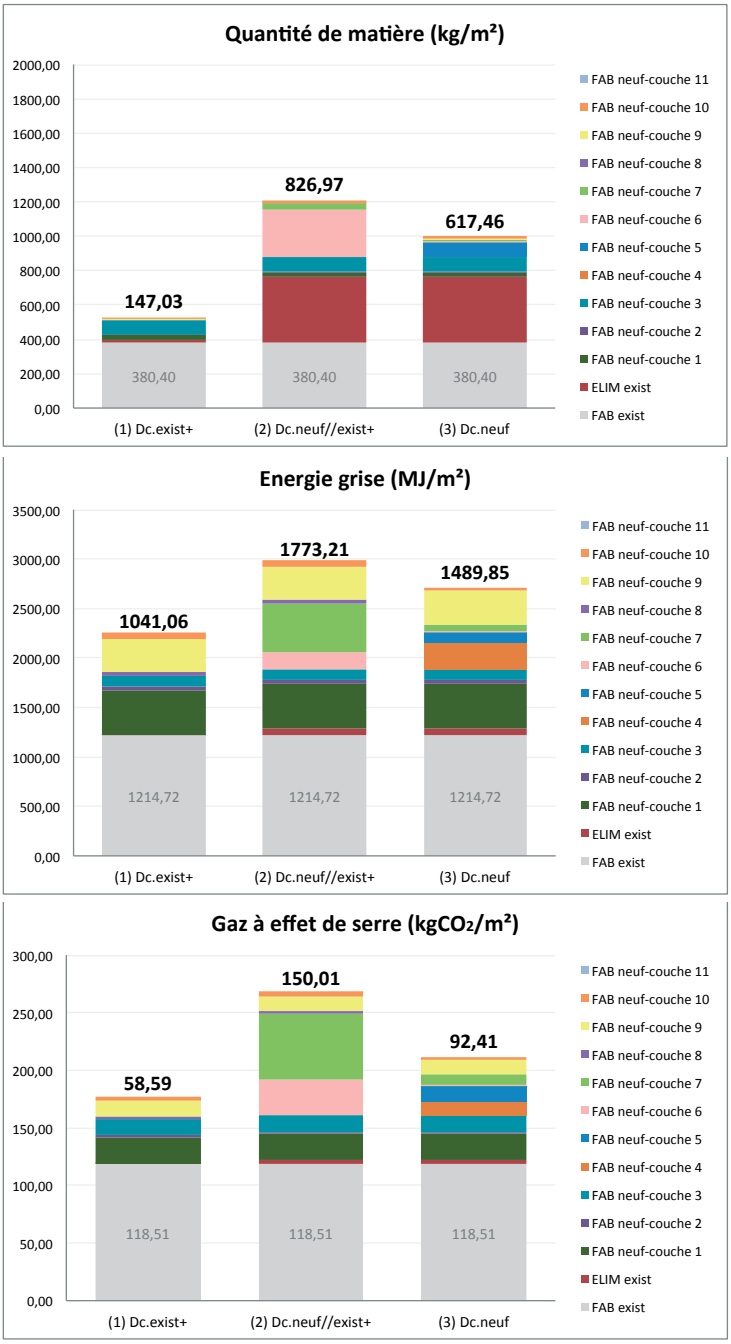
Dalles sur cave

Composition

Tableau 4.36: Composition des parois types: Dalle sur cave

	Dc.exist+	**Dc.neuf//exist+**	**Dc.neuf**
Couche 1	Carrelage	Carrelage	Carrelage
Couche 2	Mortier colle	Mortier colle	Mortier colle
Couche 3	Chape ciment	Chape ciment Le	Chape ciment
Couche 4	**Carrelage**	-	PUR
Couche 5	**Chape ciment** Le	-	Chape Le
Couche 6	**Dalle béton a.**	Dalle béton a.	Béton a. (poutrains)
Couche 7	**armatures** Ls	armatures Ls	armatures Ls
Couche 8	Mortier colle	Mortier colle	-
Couche 9	PUR	PUR	XPS (en claveaux)
Couche 10	Plaque carton-plâtre Li	Plaque carton-plâtre Li	Plaque carton-plâtre Li
Couche 11	~~Plaque fibro-plâtre~~		

Figure 4.21: Écobilan Dalle sur cave (suivant les 3 indicateurs prédéfinis)



Impacts en terme de quantité de matière

Globalement, c'est la solution **Dc.neuf//exist+** qui présente le bilan le moins intéressant avec 826,97 kg/m^2 de matière soit environ 210 kg/m^2 de plus que la solution **Dc.neuf** et 680 kg/m^2 de plus que la paroi **Dc.exist+**. Dans le cas de Dc.neuf, ce sont les chapes (couches 3 et 5) qui constituent les principales matières du bilan après l'impact de la démolition. Pour Dc.neuf//exist+, il s'agit de la dalle en béton armé (couche 6 en rose pâle) suivie de la chape (couche 3).

Impacts en terme d'énergie grise

En terme d'énergie grise, la deuxième solution Dc.neuf//exist+ est également la plus mauvaise suivie par Dc.neuf et enfin la solution conservée/améliorée.

Dans le cas de **Dc.exist+**, ce sont le carrelage (couche 1 en vert foncé) et l'isolant en PUR (couche 9 en jaune) qui sont responsables de la majeure partie du bilan. Ces matériaux jouent également un rôle important dans la répartition des impacts des autres parois analysées. Pour **Dc.neuf//exist+**, les armatures de la dalle en béton armé (couche 7 en vert clair) ont également un apport conséquent dans le bilan de l'énergie grise. La chape (couche 3 en bleu turquoise) et la dalle de béton (couche 6 en rose pâle) sont présentes dans une moindre mesure. Concernant **Dc.neuf**, l'énergie grise est principalement liée aux isolants synthétiques (PUR en orange et XPS en jaune) et au carrelage (vert foncé), suivis par les chapes (couches 3 et 5).

Une fois de plus, la phase d'élimination a un impact plus que restreint en ce qui concerne l'énergie grise.

Impacts en terme de gaz à effet de serre

Ici encore, la seconde solution est la moins intéressante. Elle est deux fois et demi supérieure à la solution de paroi conservée et améliorée et constitue environ 58 kg éqCO_2/m^2 de plus que Dc.neuf.

La répartition des résultats pour **Dc.exist+** se produit principalement entre les couches 1 (carrelage), 3 (chape) et 9 (isolant PUR). Pour **Dc.neuf//exist+**, l'impact majeur est dû à la dalle en béton armé se répartissant entre les impacts des armatures (couche 7) et du béton (couche 6). Ensuite, nous retrouvons carrelage, chape et isolant PUR. Enfin, pour **Dc.neuf**, les impacts sont un peu mieux répartis entre le carrelage (couche 1), les chapes (couches 3 et 5) et les isolants (couches 4 et 9).

Dalle sur terre-plein

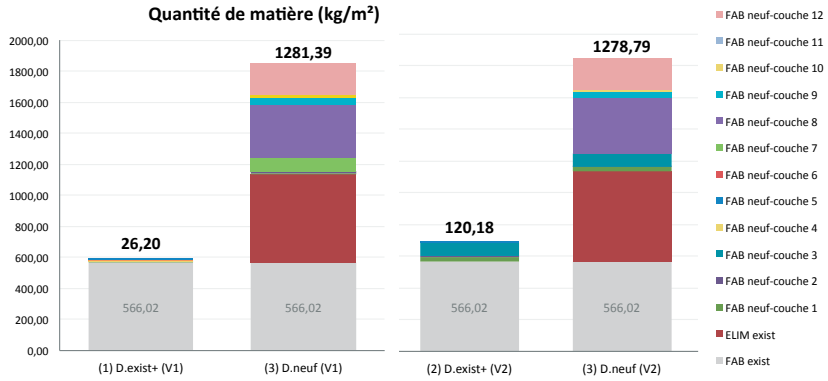
Dans le cas des dalles sur terre-plein, seulement deux parois types projetées sont proposées (Dtp.exist+ et Dtp.neuf) et ce, selon deux variantes différentes: une finition de parquet en chêne (V1) et une finition en carrelage de grès cérame (V2).

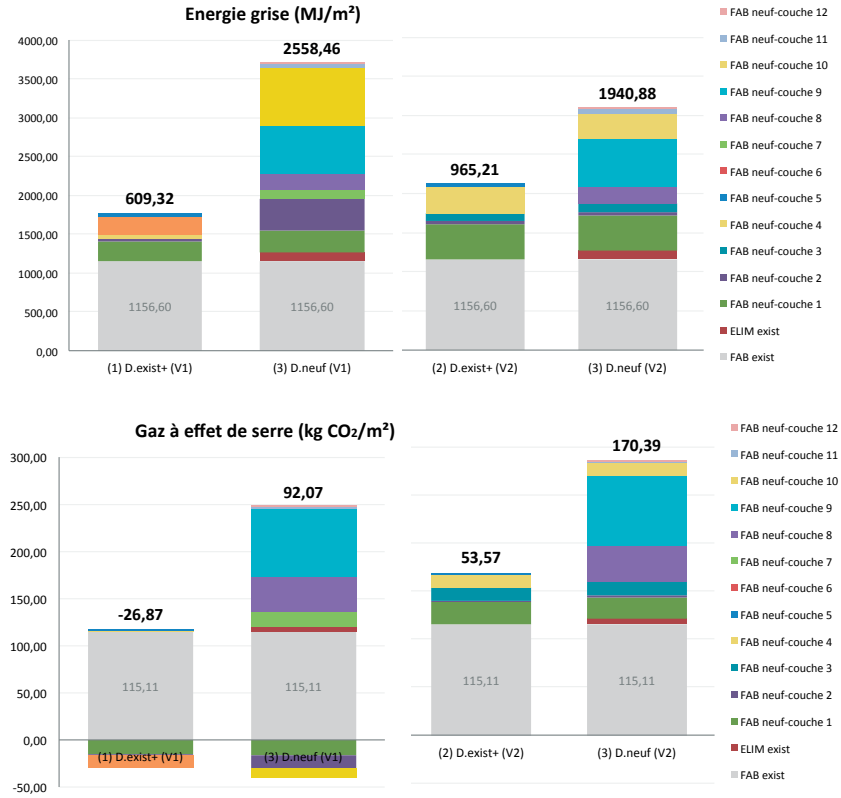
Composition

Tableau 4.37: Composition des parois types: Dalle sur terre-plein

	Dtp1.exist+		Dtp1.neuf//exist+		Dtp2.exist+		Dtp2.neuf//exist+	
Couche 1	Plancher bois	Le	Plancher bois	Le	Carrelage	Le	Carrelage	Le
Couche 2	OSB		OSB		Mortier colle		Mortier colle	
Couche 3	Cellulose		-		Chape ciment		Chape ciment	
Couche 4	Lambourdes bois		-		PUR		-	
Couche 5	Etanchéité PE		-		Etanchéité PE		-	
Couche 6	**Carrelage**		-		**Carrelage**		-	
Couche 7	**Chape ciment**		Chape ciment		**Chape ciment**		-	
Couche 8	**Dalle béton a.**		Dalle béton a.		**Dalle béton a.**		Dalle béton a.	
Couche 9	**armatures**	Ls	armatures	Ls	**armatures**	Ls	armatures	Ls
Couche 10	-		Liège		-		PUR	
Couche 11	-		Etanchéité PE		-		Etanchéité PE	
Couche 12	**sable**	Li	sable	Li	**sable**	Li	sable	Li

Figure 4.22: Écobilan Dalle sur terre-plein selon 2 variantes (suivant les 3 indicateurs prédéfinis)





Impacts en terme de quantité de matière

Si nous comparons les deux variantes en termes de quantité de matière, la solution V1 (parquet chêne) présente un bilan plus de quatre fois moindre que la variante V2 dans le cas de la paroi conservée et améliorée **Dtp.exist+**. Cela s'explique principalement par le poids respectif des matériaux de finitions choisis et leur mode de mise en oeuvre: pour le carrelage, il est nécessaire de refaire une chape dont l'impact est plus important qu'une structure en lambourdes de bois comme proposée dans la variante 1. Dans le cas où la paroi est démolie et reconstruite, les deux variantes proposent des résultats relativement similaires. Pour les deux variantes, la solution considérant une démolition préalable de la dalle (**Dtp.neuf**) est de loin la plus importante en terme d'impact sur la quantité de matière: 49 fois supérieure à Dtp.exist+ pour la variante 1 et 10 fois supérieure à Dtp.exist+ pour la variante 2

Impacts en terme d'énergie grise

Globalement, les solutions de démolition/reconstruction ont beaucoup plus d'impact que les solutions conservées et améliorées.

Concernant **Dtp.exist+**, l'énergie grise pour la variante 1 est majoritairement due au éléments en bois: lambourdes (couche 4 en orange) et parquet en chêne (couche 1 en vert foncé). Pour la variante 2, qui présente un bilan une fois et demi supérieur à la première variante, les résultats se répartissent entre la finition en carrelage (couche 1) et l'isolant en PUR (couche 4). Dans le cas de **Dtp.neuf**, la variante 1 (parquet bois) présente un bilan moins favorable que la seconde variante (carrelage). La première variante doit ses résultats principalement à la dalle en béton armé surtout pour ses aciers d'armature (couche 8 et 9), à l'isolant en liège (couche 10 en jaune), suivi par les éléments en bois: panneaux en OSB (couche 2 en mauve foncé) et parquet en chêne (couche 1 en vert). Les résultats de la seconde variante se répartissent de manière plus ou moins similaire, c'est-à-dire d'abord la dalle en béton armé surtout au niveau de ses aciers d'armatures (couche 8 et 9), la finition en carrelage (couche 1) et l'isolant en PUR (couche 10). Les autres matériaux comptabilisés ont un impact beaucoup plus faible que les couches citées ci-dessus.

Impacts en terme de gaz à effet de serre

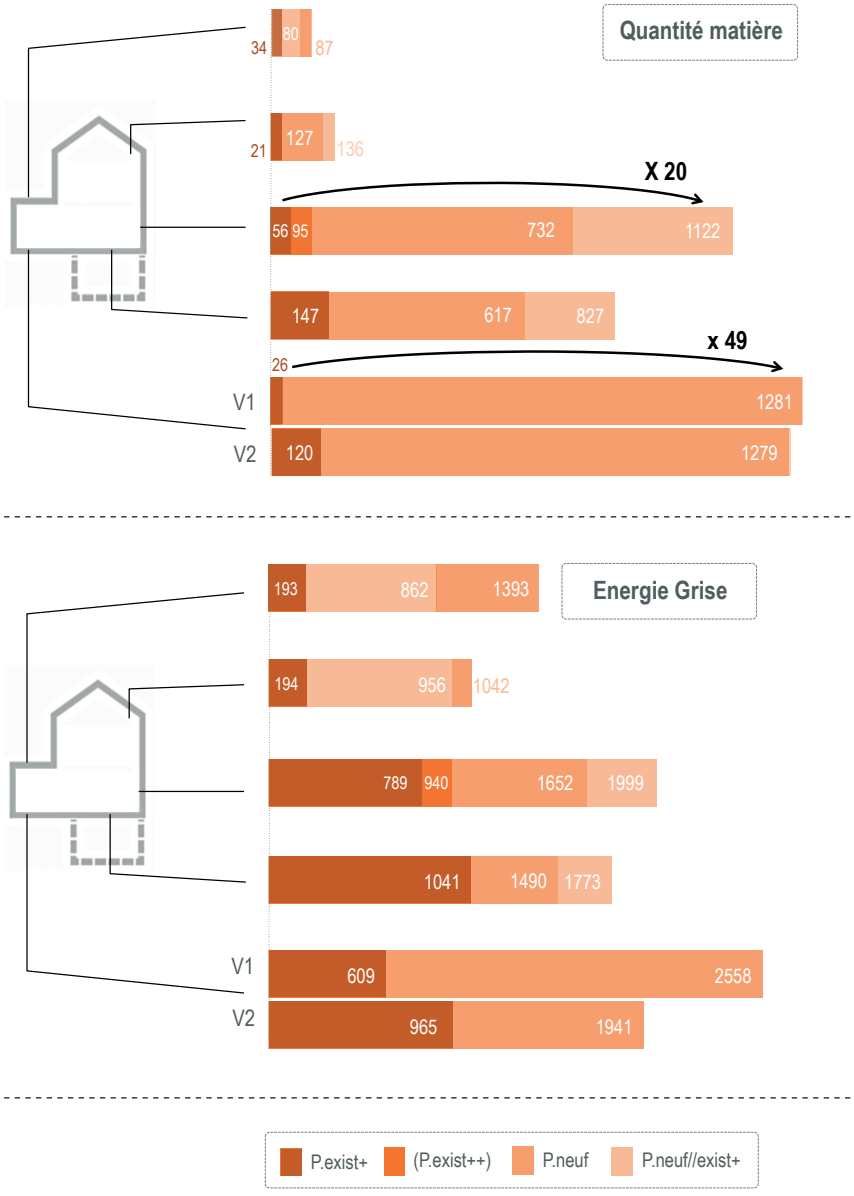
Par rapport à l'indicateur de gaz à effet de serre, la première variante propose des résultats plus intéressants pour les deux parois types que la seconde variante. Pour **Dtp.exist+**, le bilan est même négatif[22] pour la variante 1. Concernant la variante 2, les couches 1 (carrelage), 3 (chape) et 4 (isolant PUR) sont les principales responsables en termes d'impact. Par rapport à **Dtp.neuf**, et pour la variante 1, la dalle en béton armé (couche 8 et 9) et plus particulièrement ses armatures (couche 9) ainsi que la chape (couche 7) sont les éléments les plus importants en ce qui concerne l'indicateur de gaz à effet de serre. Les matériaux bois, dans une proportion beaucoup plus faible, contrebalancent ces résultats. Concernant la variante 2, l'impact principal est également dû à la dalle en béton armé, à laquelle s'ajoutent les effets de la finition en carrelage, la chape et l'isolant PUR.

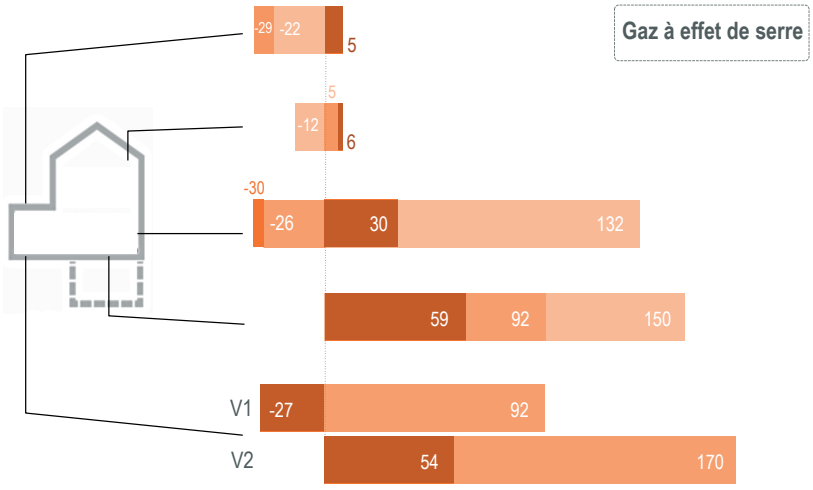
4.4.3 Synthèse des résultats et conclusions

Les figures ci-après illustrent de manière synthétique les résultats de bilan environnemental obtenus par indicateur considéré, par composante et par parois types projetées.

22 - Voir commentaires relatifs à l'indicateur GES et aux matériaux à base de bois préalablement réalisés pour les autres composantes de l'enveloppe.

Figure 4.23: Synthèse des résultats d'écobilan par indicateur et composante





Q: Quantité de matière (kg/m²); EG: Énergie Grise (MJ/m²); GES: Gaz à Effet de Serre ($kgCO_2/m^2$)

De manière globale, les résultats confirment que la solution (1), c'est-à-dire la paroi existante type conservée et améliorée (indiquée *exist.+*), est celle qui présente l'impact le plus faible, du moins pour les indicateurs de quantité de matière et d'énergie grise. Concernant l'indicateur de gaz à effet de serre, les résultats sont plus variés. En effet, en ce qui concerne les composantes *Façade* et *Toitures* (plates et à versant), l'impact en termes de gaz à effet de serre de la paroi (1) est moins intéressant que les autres parois proposant une démolition/reconstruction (sauf dans le cas de la paroi alternative *F.exist++*). Cette tendance s'explique par la présence plus ou moins importante de matériaux à base de bois. Ces derniers étant considérés comme de véritables stocks de dioxyde de carbone, ils proposent des résultats inférieurs à zéro influençant de la sorte le bilan global des parois. Nous avons discuté et nuancé ces résultats précédemment. Nous réitérons la remarque formulée plus tôt concernant l'interprétation pouvant être donnée à ces résultats: il ne faudrait pas qu'une démolition/reconstruction en structure bois puisse être justifiée uniquement sous prétexte que cette solution stocke le CO_2. Le bilan doit être considéré dans sa globalité, considérant de préférence un large nombre d'indicateurs (même si nous avons limité le nombre de ces derniers dans notre analyse). Le tableau ci-dessous reprend la synthèse des résultats obtenus pour les trois indicateurs considérés, et ce, pour chaque composante et chaque paroi type.

Concernant les phases du cycle de vie prises en compte (*FAB.exist*, *ELIM.exist*, *FAB. neuf*), l'impact de la phase d'élimination préalable de l'existant ne montre une influence notable que dans le cas de l'indicateur de quantité de matière. Ce constat nous amène à avancer les explications suivantes:

- la phase de fabrication des matériaux représente une part bien plus importante dans le bilan environnemental des parois que leur phase d'élimination.
- l'indicateur quantité de matière fait exception à cette tendance
- plus le bilan de quantité de matière sera important, plus l'impact du transport devrait être conséquent.

Comme nous l'avons mentionné dans une des analyses, cet impact du transport dépendra du poids transporté, des distances parcourues et du mode de transport utilisé. L'impact du transport en termes de bilan environnemental est en général calculé par rapport à l'unité tonne-kilomètre: elle correspond au transport d'une tonne de matière sur une distance d'un kilomètre. Les conclusions du travail de thèse de Sophie TRACHTE démontrent que, outre l'importance des distances parcourues, le mode de transport influence significativement le bilan énergétique et environnemental: plus le moyen de transport utilisé est petit, plus la consommation d'énergie et l'émission de polluants atmosphériques sont importantes. Le transport aérien fait exception à cette règle puisqu'il est de loin le plus énergivore et le plus polluant. Au regard de ces observations, l'importation de matériaux neufs (dépendant de sa provenance) aura certainement plus de conséquences que l'exportation des déchets vers les sites de traitement puisque ces sites de traitement se trouvent en général dans un rayon relativement proche des chantiers (35 km en moyenne, quand ils ne sont pas traités ou réutilisés in situ) alors que les matériaux neufs peuvent provenir de destinations beaucoup plus lointaines.

Les matériaux les plus impactants en termes de **quantité de matière** sont des matériaux présentant des masses volumiques plus importantes. Au sein d'une même paroi, ce sont donc le poids et la proportion de chaque matériau qui influencent le résultat. On retrouve donc principalement des inertes (béton, terre cuite, sable...), et des éléments en bois massif (structure, panneaux). Les isolants ont un impact faible. Cette règle n'est pas forcément applicable aux deux autres indicateurs. Concernant l'**énergie grise**, l'isolant présente en général l'impact le plus important pour les parois existantes conservées et améliorées (1) et (4). Une réflexion quant au choix de ce dernier peut de ce fait considérablement influencer le bilan environnemental pour ce type d'amélioration. Concernant les autres parois types, la solution (2) est la moins avantageuse dans le cas des structures massives (composantes *Façade* et *Dalles*) alors que c'est la troisième paroi type (3) qui est la moins favorable pour les parois dites « légères" en structure bois (composantes *toitures*). Enfin, quant à l'indicateur **gaz à effet de serre**, nous avons déjà discuté de la particularité de matériaux à base de bois. Les autres matériaux ayant un impact significatif en termes de dioxyde de carbone équivalent produit concernent les matériaux en terre cuite pour les composantes *Façade* et *Toiture à versant*, les isolants synthétiques pour toutes les composantes, les éléments de finition (plaques de carton-plâtre pour la composante *Toiture plate* et carrelage pour les composantes *Dalles*), les dalles de béton armé pour les composantes *Dalles*.

Enfin, pour conclure, nous souhaitons faire remarquer que les parois existantes ont elles-mêmes été à l'origine d'impacts environnementaux liés à leur fabrication initiale. Bien que considéré comme « amorti », il est intéressant de considérer l'impact premier de ces parois existantes. En comparant les différentes composantes à travers leurs parois types existantes, il s'avère que pour les trois indicateurs, les éléments présentant les plus gros impacts concernent les structures dites « lourdes »: façade en briques de terre cuite pleines et dalles en béton. Ces parois mériteraient-elles d'être davantage conservées que les autres vu les impacts qu'elles ont générés à l'époque de leur fabrication ? La « perte » engendrée par leur démolition devrait en tout cas être prise en considération pour l'effet de cumul qu'elle peut avoir sur les impacts environnementaux globaux de l'opération.

4.5. RENCONTRE ENTRE *VALORISABILITÉ* ET ÉCOBILANS

L'objectif de ce chapitre est de pouvoir comparer et identifier les convergences, divergences et/ou complémentarités des deux évaluations précédemment réalisées[23]. Nous voulons également montrer par cette approche qu'outre l'impact environnemental de nos choix conceptuels, il est nécessaire de pouvoir évaluer l'importance de leur possible valorisation finale. De la sorte, nous plaçons l'évaluation qualitative du potentiel de ressources matérielles que constituent les parois dans une démarche prospective rejoignant ainsi l'hypothèse préalablement émise du bâtiment comme réserve de matériaux.

L'outil d'évaluation environnementale offre des résultats qui se basent sur la représentativité des matériaux selon leur poids par mètre carré de surface. Dans l'analyse comparative ici réalisée, nous nous référerons donc à l'unité de poids par mètre carré en ce qui concerne l'évaluation de la *valorisabilité*. De plus, dans le cas des écobilans, nous avons comptabilisé la phase de démolition préalable de l'existant. Cela nous amène à nous positionner par rapport au fait de considérer ou non l'application du facteur de correction dans l'interprétation des résultats du bilan de *valorisabilité* (voir méthodologie de comptabilisation dans le bilan de valorisabilité). La prise en compte de ce facteur reviendrait à « intégrer » la phase de démolition préalable au potentiel de valorisation, comme c'est le cas pour le bilan environnemental. Nous présenterons donc les deux types de résultats (sans et avec facteur de correction) bien que nous tiendrons préférentiellement compte des résultats sans facteur de correction (moins en faveur des parois démolies/reconstruites). Les résultats sont d'abord détaillés par composante avant de faire l'objet d'une synthèse en conclusion.

4.5.1. Façade

L'évaluation de la *valorisabilité* des parois types de façade montre des résultats différents d'un degré de valorisation à un autre. La troisième solution proposant

23 - L'ensemble des graphiques de résultats est repris dans les annexes.

une démolition/reconstruction de la paroi suivant un système constructif « léger » (*F.neuf*) apparaît comme ayant le meilleur potentiel en matière de prévention, de compostage et d'incinération. Ensuite, les potentiels de réemploi et de recyclage les plus intéressants sont repris par la façade conservée et améliorée (*F.exist+*). Si nous opérons dans l'ordre de la priorité d'action, *F.neuf* devrait donc être privilégiée. Avec l'application du facteur de correction, le potentiel de prévention des parois conservées /améliorées (*F.exist++* puis *F.exist+*) devient le plus intéressant. Alors que pour l'ensemble des autres degrés de valorisation, *F.neuf* possède de loin le meilleur potentiel. En effet, l'opération permet de « récupérer » le potentiel de valorisation particulièrement intéressant de la paroi existante démolie et de l'ajouter au potentiel de la nouvelle paroi.

Quels résultats nous montrent les évaluations environnementales de ces parois ? Concernant la quantité de matières engendrées par l'opération de rénovation et concernant l'indicateur d'énergie grise, la paroi qui apparaît comme étant la plus intéressante est la paroi conservée et améliore *F.exist+*, suivie de peu par *F.exist++*. En matière de gaz à effet de serre par contre, c'est la solution *F.exist++* qui semble la meilleure ainsi que la paroi *F.neuf* (nous en avons précédemment exposé les raisons dans le chapitre sur le bilan environnemental).

Malgré ces différences, les deux évaluations convergent en une chose: la deuxième solution de paroi démolie/reconstruite *F.neuf//exist+* n'est pas celle à privilégier aussi bien d'un point de vue environnemental que concernant sa *valorisabilité*. Les résultats des bilans environnementaux appuient la solution de la conservation et celle-ci peut représenter un avantage en matière de potentiel de réemploi et de recyclage (aussi bien pour *F.exist+* que pour *F.exist++* qui présentent globalement les mêmes résultats). Si la conservation de ce mur n'est pas envisageable (problème de stabilité, de dégradation...), la troisième solution de paroi *F.neuf* sera retenue.

4.5.2. Toiture à versant

L'évaluation de la *valorisabilité* (bilan poids) des parois types de la toiture à versant définit la paroi démolie/reconstruite *Tv.neuf* comme la plus performante au niveau potentiel de prévention (comme dans le cas de la façade). L'évaluation montre également une égalité de résultats entre la solution conservée et améliorée *Tv.exist+* et la solution démolie/reconstruite *Tv.neuf//exist+*. Ces parois types sont présentées comme les plus performantes en matière de potentiel de réemploi, recyclage, compostage et incinération. Une fois le facteur de correction appliqué, la paroi conservée et améliorée *Tv.exist+* est la meilleure en matière de prévention alors que l'ensemble des autres potentiels de valorisation présente la paroi *Tv.neuf//exist+* comme la plus intéressante[24].

24 - Notons que Tv.neuf est presqu'aussi performante pour le potentiel de réemploi et de recyclage

Concernant le bilan environnemental, la paroi conservée et améliorée *Tv.exist+* apparaît de nouveau comme la solution la moins impactante pour ce qui est de la quantité de matière et de l'énergie grise engendrées par l'intervention d'amélioration énergétique de la paroi. Concernant l'indicateur de gaz à effet de serre par contre, c'est la deuxième solution *Tv.neuf//exist+* qui semble être en meilleure position. La raison de son bilan « négatif » (-11,60 kg.CO_2/m²) est discutée dans les résultats du chapitre précédent.

Nous retiendrons de ces deux évaluations que le premier choix se porte surtout sur la conservation et l'amélioration de la paroi *Tv.exist+* (sans considération du facteur de correction). L'égalité de résultats entre *Tv.exist+* et *Tv.neuf//exist+* dans l'évaluation des potentiels est en effet « tranchée » par le bilan environnemental plutôt en faveur de la première solution (du moins pour deux indicateurs sur trois). Notons toutefois que *Tv.neuf//exist+* appliqué du facteur de correction, et considérant l'indicateur gaz à effet de serre, représente une solution tout à fait envisageable. Elle possède tout de même un impact 6 fois supérieur à celui de *Tv.exist+* en quantité de matière et environ 5 fois supérieur en matière d'énergie grise.

Si nous resituons ces évaluations au regard des tendances d'intervention observées dans la troisième partie de cet ouvrage, la seconde solution *Tv.neuf//exist+* semble effectivement la plus adaptée après la solution type *Tv.exist+*. En effet, l'analyse des projets a démontré une plus grande tendance à la démolition dans le cas des composantes de toiture, mais néanmoins une conservation préférentielle des éléments structurels en bois (pannes, chevrons). La tendance observée dans les projets est donc un « entre-deux » des solutions *Tv.exist+* et *Tv.neuf//exist+*. Or, au regard des impacts environnementaux engendrés par la fabrication des tuiles en terre cuite, dont les proportions ne sont pas négligeables dans l'écobilan global, il apparaît pertinent d'agir en faveur de leur conservation. Cette disposition impacterait de manière positive le bilan environnemental de la paroi. De plus, les tuiles en terre cuite possèdent l'avantage de pouvoir être démontées facilement et de ne pas requérir de conditions de stockage trop exigeantes. Les principaux obstacles reviendront donc à convaincre l'entrepreneur d'opérer un démontage et une remise en oeuvre des tuiles ainsi qu'à trouver l'espace disponible au stockage temporaire de ces éléments.

4.5.3. Toiture plate

Concernant la *valorisabilité* de la toiture plate, les tendances sont moins claires que pour les autres composantes. En matière de potentiel de prévention et de réemploi, autrement dit les plus importants sur l'échelle d'action, nous retrouvons *Tp.neuf* comme paroi la plus performante (pas forcément loin devant les deux autres solutions de paroi type). En ce qui concerne les potentiels de recyclage et d'incinération, c'est la paroi conservée/améliorée *Tp.exist+* qui possède le plus haut potentiel. Enfin, *Tp.neuf//exist+* offre le meilleur résultat pour le potentiel de compostage.Si le

facteur de correction est appliqué, *Tp.exist+* passe en tête pour le potentiel de prévention alors que *Tp.neuf//exist+* possède la première place pour les quatre autres degrés de valorisation.

Comme dans le cas des autres composantes, le bilan environnemental se positionne en faveur de la solution de paroi conservée et améliorée *Tp.exist+* pour les deux premiers indicateurs (Q et EG). En ce qui concerne l'indicateur gaz à effet de serre, la troisième solution *Tp.neuf* apparaît la plus intéressante, pas très loin devant *Tp.neuf//exist+*. De nouveau, l'explication vient du fait de la considération des matériaux à base de bois comme des stocks de CO_2. Or la quantité de matériaux neufs de ce type est beaucoup plus importante dans le cas des parois reconstruites, alors que la paroi améliorée conserve ces éléments en place (existant): ils ne sont donc pas comptabilisés.

Quelles tendances dégager de la mise en parallèle de ces deux évaluations ? La solution *Tp.neuf* définie comme étant la plus intéressante en matière de *valorisabilité* (selon les degrés de priorité d'action) possède les impacts environnementaux les plus conséquents concernant les indicateurs quantité de matière et énergie grise: soit plus de deux fois supérieures à *Tp.exist+* en quantité et sept fois supérieures à *Tp.exist+* en énergie grise. Il y a donc opposition dans les résultats de ces deux évaluations. La paroi conservée/améliorée *Tp.exist+* est bien positionnée en matière de recyclage et c'est également celle qui présente le moins d'impacts environnementaux selon les deux indicateurs préalablement cités: elle représente une économie d'environ 333 kWh en énergie grise par rapport à *Tp.neuf*. De plus, concernant le potentiel de prévention et de réemploi, *Tp.exist+* possède des résultats très peu en dessous des résultats de *Tp.neuf*. Même si, comparativement aux autres composantes, les résultats sont moins éloquents en faveur de la conservation et de l'amélioration de la paroi existante en matière de *valorisabilité*, d'un point de vue environnemental, elle représente néanmoins une solution viable. Ensuite, si la conservation de cette toiture n'est pas envisageable, la seconde solution *Tp.neuf//exist+* sera préférentiellement retenue. Premièrement parce qu'elle présente un impact nettement plus restreint concernant l'énergie grise avec 530,84 MJ/m^2 en moins, soit une économie d'environ 147,5 kWh. Deuxièmement parce que son potentiel de valorisation est également défini comme le plus élevé pour l'ensemble des degrés de valorisation avec l'application du facteur de correction.

4.5.4. Dalle sur cave

Les parois types de la composante dalle sur cave possèdent des potentiels de réemploi, de compostage et d'incinération nuls ou quasiment nuls. Nous nous référerons donc principalement à leur potentiel de prévention et de recyclage. Ces derniers présentent des résultats plus attractifs pour les deux premières solutions projetées Dc.exist+ et Dc.neuf//exist+, surtout en matière de recyclage (le bilan est en effet le

même pour ces deux parois).

Concernant les impacts environnementaux de ces parois, ils sont dans les trois cas d'indicateurs les plus faibles pour la solution de paroi conservée/améliorée *Dc.exist+*. Les impacts les plus importants sont à imputer à la deuxième solution *Dc.neuf// exist+*, principalement à cause de l'impact lié à la fabrication de la dalle en béton armé.

Alors que le bilan de valorisabilité offre le même résultat pour les deux premières parois, le bilan environnemental nous permet de choisir la solution des deux ayant le moins d'impact sur l'environnement en considérant les trois indicateurs retenus. C'est pourquoi nous pouvons affirmer que les deux évaluations convergent vers une même solution optimale: la conservation et l'amélioration de la dalle existante.

4.5.5. Dalle sur terre-plein

Par rapport au bilan de valorisabilité de la dalle sur terre-plein, les potentiels de prévention et de recyclage désignent la solution de paroi démolie/reconstruite *Dtp2. neuf* comme la plus performante. Concernant le potentiel de réemploi, c'est la variante 1 de la solution démolie/reconstruite (*Dtp1.neuf*) qui est la plus intéressante. Alors que *Dtp1.exist+* présente, à quelques pourcents près, les meilleurs potentiels de compostage et d'incinération. Cela signifie que pour les trois premiers degrés de valorisation, les solutions de démolition/reconstruction se trouvent en tête[25].
À propos du bilan environnemental des deux variantes d'intervention sur la composante dalle sur terre-plein, il désigne la solution de paroi conservée/améliorée *Dtp1. exist+* comme étant la moins impactante pour les trois indicateurs considérés. Cette solution de paroi représente en effet 49 fois moins de matières à amener et à évacuer du chantier que la plus mauvaise solution (*Dtp1.neuf*). L'énergie grise est quatre fois moins importante et les émissions de gaz à effet de serre sept fois moins conséquentes.

Nous observons donc une divergence de résultats dans les deux évaluations réalisées[26]. Qu'en est-il donc du bilan environnemental des parois dont la *valorisabilité* est la plus intéressante ? *Dtp2.neuf*, défini comme la meilleure paroi pour la préven-

25 - Nous souhaitons rappeler que le bilan de *valorisabilité* considérant l'unité de volume désignait la paroi conservée/améliorée Dtp1.exist+ comme la plus performante pour tous les degrés de valorisation. La différence de résultats entre ces deux unités de mesure repose principalement sur la masse volumique et la représentativité respectives des matières constituantes de la paroi (béton et sable pour les parois neuves).

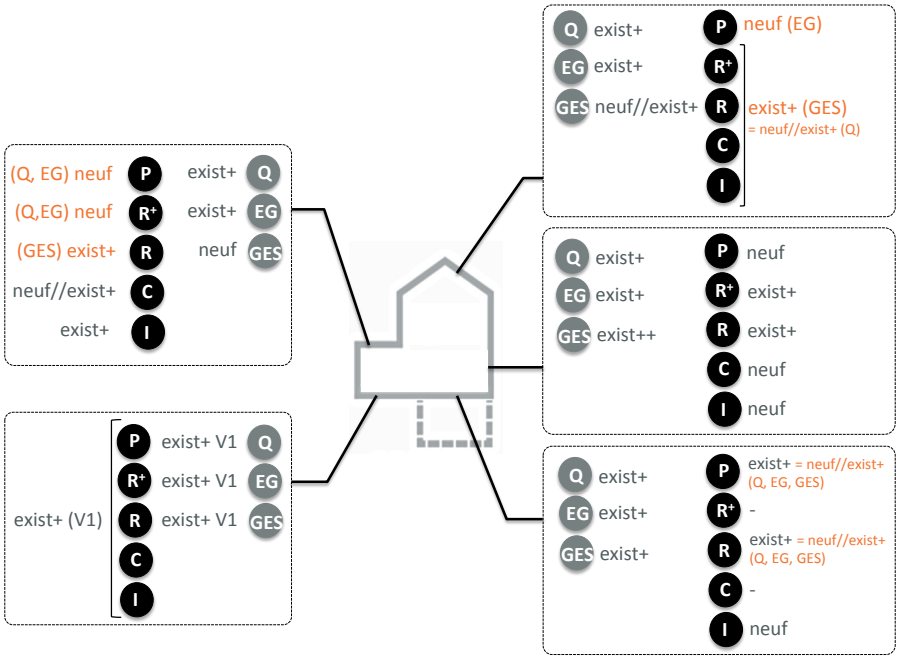
26 - Nous tenons cependant à rappeler qu'un des facteur influençant positivement la *valorisabilité* des parois neuves est la couche de sable sous la dalle de sol. Elle est en effet considérée dans le cas des parois démolies/reconstruites et non dans le cas de parois conservées/améliorées. Or, elle représente un potentiel de réutilisation (réemploi et recyclage) significatif et représente une proportion importante de la paroi.

tion et le recyclage, présente en réalité un surplus de 1252,59 kg/m² à transporter, une consommation de 370 kWh supplémentaires en énergie grise et une consommation de l'équivalent de 75 litres de fuel (GES) par rapport à la solution *Dtp1.exist+*. Cette solution n'est donc pas à encourager d'un point de vue environnemental. Pour conclure, nous opterons donc plutôt pour les solutions de parois conservées/améliorées pour l'économie d'impacts environnementaux relativement conséquente qu'elles représentent par rapport aux nouvelles parois, quitte à en réduire quelque peu le potentiel de valorisation futur.

4.5.6. Synthèse et conclusions

La figure ci-dessous reprend, pour l'évaluation environnementale et de *valorisabilité*, les parois types présentant les « meilleurs » résultats: soit l'impact le plus faible pour les indicateurs environnementaux et le potentiel le plus important pour la *valorisabilité*.

Figure 4.24: Synthèse des résultats d'écobilan et de *valorisabilité*



Q: Quantité de matière (kg/m²); EG: Énergie Grise (MJ/m²); GES: Gaz à Effet de Serre ($kgCO_2/m^2$)
P: Prévention; R+: Réemploi; R: Recyclage; C: Compostage; I: Incinération
exist+ et *exist++*: parois conservées et améliorées;
neuf//exist+: parois neuves à l'identique de exist+; *neuf*: parois neuves

Globalement, les résultats d'écobilan sont plutôt en faveur des solutions de parois conservées et améliorées (*exist+* ou *exist++*) à quelques exceptions près. Dans le cas de l'évaluation de la valorisabilité par contre, les tendances sont moins claires. Les parois types démolies et reconstruites (*neuf//exist+* ou *neuf*) présentent, selon les cas, des potentiels de valorisation plus intéressants ou équivalents à ceux des parois conservées/améliorées. Considérés indépendamment du bilan environnemental, ces résultats peuvent conduire à des conclusions et interprétations hâtives préconisant la démolition/reconstruction au détriment d'une certaine conservation de la matière.

Les parois indiquées en orange sur la figure et relatives à l'évaluation de la *valorisabilité* sont celles qui présentent des résultats contradictoires avec ceux du bilan environnemental. Par exemple, dans le cas de la toiture plate (Tp), la paroi *Tp.neuf* présente le meilleur potentiel de valorisation en ce qui concerne la prévention et le réemploi. Or, cette paroi est aussi celle qui possède le bilan environnemental le plus défavorable pour les indicateurs *quantité de matière (Q)* et *énergie grise (EG)*. Concernant la dalle sur cave (Dc), l'évaluation de la *valorisabilité* montre des résultats similaires entre *Dc.exist+* et *Dc.neuf//exist+* pour le potentiel de prévention et de recyclage. Pourtant, *Dc.neuf//exist+* est la solution de parois la plus impactante considérant les trois indicateurs analysés.

L'ensemble de ces observations nous amène à conclure qu'il est essentiel de considérer ces évaluations de manière complémentaire et non indépendante, plus particulièrement encore concernant la *valorisabilité*. Cette dernière ne peut en effet être interprétée séparément du bilan environnemental, qui est l'évaluation qui devrait primer au final. En effet, au-delà du potentiel de valorisation attrayant (accru par l'application du facteur de correction) de certaines solutions de parois démolies/reconstruites, ce type d'intervention n'en demeure pas moins une opération impactant considérablement nos écosystèmes, et ce, même si les matières démolies constituent des ressources potentielles. Nous proposons donc de considérer la *valorisabilité* comme une évaluation subsidiaire au bilan environnemental, mais également au bilan énergétique de l'opération de rénovation. Elle permet en effet de tendre vers une approche plus globale ajoutant la dimension de « ressources potentielles » à celle de la diminution des impacts environnementaux et de la diminution de la consommation en énergie.

Notons également que la comparaison des résultats révèle une autre difficulté: la temporalité différente des évaluations. En effet, le bilan environnemental considère les impacts actuels liés à la démolition de l'existant et à la fabrication des nouveaux matériaux alors que le bilan de valorisabilité est inscrit dans une démarche prospective: il évalue le potentiel de valorisation possiblement atteint à la fin de vie des parois actuellement réalisées. Or, les phases de remplacements intermédiaires et d'élimination future des nouveaux matériaux mis en oeuvre n'ont pas été reprises

dans les bilans environnementaux[27]. Nous devrons donc tenir compte de cette particularité dans l'interprétation des différents résultats. Bien que la question ne soit pas directement abordée dans cette recherche[28], nous pensons qu'il serait aussi intéressant d'étudier plus en profondeur la question de la durée de vie des éléments et de leur renouvellement.

4.6. VERS UNE OPTIMISATION: FREINS ET OPPORTUNITÉS

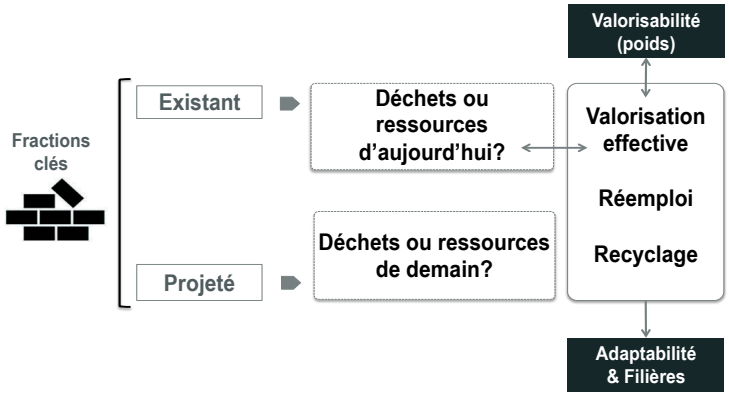
Dans ce dernier chapitre de la quatrième partie, nous souhaitons amorcer une réflexion sur les possibles optimisations tendant vers une meilleure valorisation de nos ressources matérielles immeubles. Il s'agit en quelque sorte de l'aboutissement des analyses poursuivies précédemment toujours envisagées dans une démarche prospective. À l'hypothèse initialement formulée « le bâtiment peut-il constituer un gisement de matières ? » et au regard de la nécessité d'agir en faveur d'une rénovation énergétique du parc immobilier, nous avons d'abord voulu identifier et quantifier ce gisement ainsi que les tendances observées dans la rénovation énergétique dite « durable » (partie 3). Nous avons ensuite proposé une évaluation du potentiel de valorisation (ou degré de *valorisabilité*) que constituent les parois thermiquement performantes et nous avons mis ces résultats en parallèle avec les performances environnementales de ces mêmes parois. L'objectif de ce chapitre est de confronter le potentiel évalué à la valorisation effective des matières et d'identifier les opportunités ainsi que les freins à une valorisation plus optimale. Par valorisation optimale, nous entendons l'application d'un degré de valorisation supérieur tel que défini par la hiérarchie d'action, si cette valorisation supérieure est possible et envisageable.
Pour ce faire, nous avons séparé l'approche en deux temps: opportunités d'optimisation actuelles sur base des parois types existantes et de leurs fractions clés, et opportunités futures de gisement matériel sur base des parois types projetées et de leurs fractions clés identifiées (voir premier chapitre de la partie 4). Concernant les opportunités futures, plusieurs hypothèses seront émises, car nous ne pouvons évidemment pas avoir d'emprise sur l'évolution des marchés, des pratiques et des avancées technologiques futures. Néanmoins il nous est possible de lancer des pistes de réflexion et aussi des points d'attention.

Dans cette approche en deux temps, nous proposons d'abord de nous interroger sur les opportunités générales d'optimisation: ce type de matériau est-il théoriquement réemployable, recyclable, compostable, incinérable (nous avons déjà en grande partie répondu à cette question dans l'analyse sur la valorisabilité). Ensuite, nous proposons d'aborder de façon plus détaillée les opportunités relatives aux deux premiers degrés de valorisation: le réemploi et le recyclage. Nous étudierons également

27 - Notons toutefois, que les impacts (EG, GES) liés à la phase d'élimination sont en général restreints comparativement aux impacts de la phase de fabrication.
28 - La durée de vie et fréquence de remplacement constituent des paramètres comptabilisés dans l'évaluation de la valorisabilité.

certaines des parois types en confrontant le potentiel de valorisation évalué précédemment avec la valorisation effective aujourd'hui opérée. Cette comparaison nous permettra d'identifier diverses pistes d'amélioration de la valorisation des parois. Enfin, nous discuterons des freins rencontrés à différents niveaux et des outils qui pourraient faciliter la valorisation future des éléments construits. La figure ci-après illustre l'approche proposée dans ce chapitre.

Figure 4.25: Schéma illustrant l'approche en deux temps proposée pour l'identification des opportunités et freins à une meilleure valorisation



4.6.1. Déchets ou ressources d'aujourd'hui

Le potentiel premier de valorisation de la matière existante est évidemment de la conserver en état dans le bâti et d'y apporter les améliorations nécessaires et requises. Il s'agit de prévention. Si l'état de la construction initiale le permet, le prolongement de sa durée de vie est la première action à privilégier. Bien entendu, toute forme de transformation (rénovation lourde, agrandissement, extension…) ne peut se produire sans démolitions ou productions de flux connexes : IN/matériaux neufs & OUT/déchets (voir 'bilans matières' en partie 3). Or, souvent, les matières produites par ces modifications constructives ne sont considérées que comme 'rebuts'. Il apparaît donc important dans un premier temps de valoriser la matière mise en œuvre pour tout ce qu'elle représente : valeur historique, culturelle, patrimoniale, mais également matérielle (effort considéré à sa fabrication et sa construction initiale par rapport à l'amortissement de l'énergie grise) et, dans un second temps, valoriser celle qui sera démise en œuvre par l'opération de rénovation comme potentielle ressource matérielle locale.

À l'heure actuelle, la RBC (et la Belgique en général) présente un très bon score en matière de valorisation des déchets de C&D. Elle est même en avance sur les objectifs européens puisqu'elle annonce un taux de recyclage de 85% et ambitionne

d'atteindre les 90% dans les prochaines années. Comment expliquer cette performance ? La fraction majoritaire des déchets de C&D concerne les inertes avec plus de 90% de représentativité en poids. La filière de recyclage de ce type de déchets est déjà bien installée et éprouvée. Cette filière a d'ailleurs pu se développer grâce à plusieurs facteurs: les quantités importantes de ce type de matière (masse critique), les obligations légales et réglementaires concernant le traitement de ces déchets en fin de vie et, l'augmentation de la taxation de la mise en décharge. Malgré un taux de recyclage annoncé particulièrement attractif, le traitement des inertes à l'heure actuelle relève plus du down-cycling, et les pertes de ressources potentielles que constituent les déchets de chantier sont encore importantes.

Opportunités générales d'optimisation

La particularité des déchets dits « d'aujourd'hui », c'est-à-dire produits lors d'opérations de rénovation énergétique, est qu'ils se caractérisent par une certaine simplicité dans leur nature (homogénéité des matériaux), dans leur nombre limité et dans leur mise en œuvre. Ces caractéristiques permettent théoriquement une facilité de tri et de valorisation. En outre, ces matériaux présentent une valeur patrimoniale plus ou moins intéressante selon les cas et leur époque: ils constituent des témoins d'une époque dont nous avons peut-être encore à apprendre, ils présentent un style « ancien » parfois recherché, etc. Comme nous l'avons cité dans l'introduction de ce chapitre, certains matériaux en fin de vie sont actuellement déjà valorisés, mais pas toujours selon leur potentiel maximal. C'est ce potentiel 'amélioré' que nous tenterons ici d'identifier pour les différentes fractions contenues dans les parois types.

Nous avons tout d'abord déterminé les possibilités de valorisation par fractions clés (préalablement identifiées au début de cette quatrième partie), et selon la hiérarchie d'action utilisée dans l'évaluation de valorisabilité. La prévention n'est néanmoins pas reprise, car elle est essentiellement dépendante de pratiques de mise en oeuvre (et de démise en oeuvre) ainsi que de choix conceptuels initiaux (conservation ou démolition, modes constructifs, détails…). Elle influence donc les quantités, et dans une autre mesure, la qualité des fractions à traiter, mais ne constitue pas en soi un 'traitement' en fin de vie comme le réemploi, le recyclage, la valorisation « organique » (définie par *compostable*) ou la valorisation énergétique (définie par *incinérable*).

Nous pouvons remarquer dans le tableau ci-dessous que pour plusieurs fractions (notamment les inertes) de nombreux matériaux semblent pouvoir satisfaire à la valorisation par le réemploi. Or, ce type de valorisation n'est pas repris dans les données sur la valorisation effective des matières. En effet, il s'agit à l'heure actuelle d'une pratique encore peu répandue, en tout cas de manière « officielle », bien qu'elle soit de plus en plus encouragée par Bruxelles Environnement, l'alliance Emploi-Environnement et d'autres initiatives privées ou publiques. De plus, il est extrêmement difficile d'obtenir des informations chiffrées sur les proportions réellement réemployées

des matières évacuées des chantiers. Nous pouvons également observer que la fraction de bois offre plusieurs opportunités de valorisation (contrairement aux inertes et métaux) qui élargit les possibilités quant à l'objectif d'élimination de la mise en décharge. Notons également que cette fraction fait l'objet d'une moindre attention quant à son tri sur chantier. La part triée sur chantier est la première étape qui permettrait de réaliser un tri sélectif à la source. Ce dernier, quand il est opéré, se justifie en général soit par des obligations réglementaires, soit par l'avantage financier que l'opération de tri représente. Dans le cas des inertes, 75% de la masse (sauf bitume et verre) sont triés sur site principalement par obligation réglementaire et dont la grande majorité est redirigée vers les filières de recyclage. Sur chantier, les inertes sont généralement regroupés en mélange dans le même container sans différenciation (béton, terre cuite, pierre…). Puisque l'effort de tri à la source est déjà réalisé à 75%, quel pas supplémentaire serait-il nécessaire pour affiner ce tri et récupérer distinctement les éléments valorisables vers les filières de réemploi (action prioritaire au recyclage) ? Dans le cas des métaux, la valeur économique importante de ce type de matériaux justifie sa récupération à la source. La filière privilégiée dans ce cas est également le recyclage.

Tableau 4.38 : Opportunités de valorisation des fractions (existantes)

FRACTIONS		Matériau	R+	R	C	I	Trié
INERTES	Terre cuite	Briques	++	+	-	-	75%
		Tuiles	++	+	-	-	
		Dalles	++	+	-	-	
	Béton	Dalle	-	++	-	-	
		(Blocs béton de cendrée)	-	+/-	-	-	
	Granito		-	+	-	-	
	Carrelages	Carreaux de ciment	++	+	-	-	
	Pierre	Seuils de fenêtre	++	+	-	-	
	Produist bitumineux	Membranes d'étanchéité	-	+/-	-	+	0%
	Verre	Vitrage simple	-	+	-	-	70%
BOIS	Bois plein (non traité)	Gîtes/pannes, chevrons, lattages	+	+	+	+	40%
		Planchers/parquets	+	+	+	+	
		Châssis	+/-	+/-	+/-	+	
	Bois plein traité		+/-	-*	-	+	
METAUX	Ferreux	Poutrelles en acier	+/-	++	-	-	85%
		Armatures (dalle béton)	-	+	-	-	
AUTRES	Chaux +sable		-	-	-	-	0%

R+: réemploi; R: recyclage; C: compostage/valorisation organique; I: incinération/val. énergétique

++ Particulièrement adapté
+ Adapté
+/- Moyennement adapté (selon les cas)
- Pas du tout adapté
** Les données de tri sont communiquées dans l'étude de l'Ovam (OVAM, 2011a)
* Les bois initialement traité au Pb (XIXème et début XXème siècles) hautement toxique, la toxicité est-elle toujours réelle après autant d'années ? Un réemploi peut-il être envisageable ? Ces bois ne sont-ils finalement pas quand même envoyés vers les filières de recyclage ?

Opportunités de réemploi des fractions clés existantes

Le réemploi, placé presque au sommet de la hiérarchie d'action, propose un avantage considérable qu'est l'allongement de la durée de vie des éléments. Ces derniers sont utilisés dans un nouveau cycle sans transformation préalable de la matière. Le réemploi substitue de la sorte à des matières neuves (qui auraient été normalement nécessaire au même usage que celui assuré par les éléments réemployés), une part du flux de déchets produits. L'avantage est donc multiple : allongement de la durée de vie (amortissement), diminution du recours aux matières premières neuves et réduction de la quantité de déchets. Un autre avantage est que l'opération ne nécessite aucune transformation préalable de la matière contrairement au recyclage, plus énergivore, et contributeur dans une plus large mesure d'impacts environnementaux. Cependant, des opérations de préparation au réemploi seront dans certains cas nécessaires : rafraîchissement, redimensionnement, ponçage, peinture...

Nous avons vu précédemment que pour une série de fractions, le réemploi était un type de valorisation envisageable. Pour détourner une part de ces matériaux en fin de vie du recyclage (plus bas dans l'échelle d'action) de l'incinération ou de la mise en décharge, nous devons préalablement identifier si des filières de réemploi existent réellement pour ce type de matières. En effet, une valorisation effective vers le réemploi ne pourra actuellement être effectuée que si des filières de valorisation de ce type existent. À plus long terme, il est envisageable que de nouvelles filières se créent, mais nous sommes malheureusement dans l'incapacité de pouvoir le prédire, car de nombreux facteurs impondérables sont en jeu. Le tableau ci-après reprend la liste des filières de revente de matériaux de réemploi et la distance à parcourir jusqu'aux points de ventes et de dépôt. Les informations fournies dans le tableau se basent principalement sur la plateforme Opalis.

Tableau 4.39 : Valorisation des fractions clés (existantes) vers le réemploi - filières

FRACTIONS		Matériau	R+	F	Revendeurs	Distance
INERTES	Terre cuite	Briques	++	oui	Kampenhout, Tremelo, Heultje, Lier, Wommelgem, Beveren-Waas, Ottenburg, Reet, Bonheiden, Leest, Dendermonde, La Louvière, Châtelet, …	< 60 km
		Tuiles	++	oui	Reet, Lierde, Zegelsem, Waregem, Wevelgem, Kampenhout, Ottenburg, Bonheiden, Leest, Beveren-Waas, Ranst, Heist-op-den-Berg, …	< 60 km
		Dalles	++	oui	Geel, Zegelsem, La louvière, Orsmaal-Gussenhoven, Zegelsem, Châtelet, Ottenburg, Saint-Servais, Walhain, Gembloux, Bonheiden, Heist-op-den-berg, …	< 60 km
	Béton	Dalle	-	-	-	-
		(Blocs)	-	-	-	-
	Granito		-	-	-	-
	Carrelages	Carreaux de ciment	++	oui	Geel, Zegelsem, La Louvière, Orsmaal-Gussenhoven, Zegelsem, Châtelet, Ottenburg, Saint-Servais, Walhain, Gembloux, Bonheiden, Heist-op-den-berg,…	< 60 km
	Pierre	Seuils	++	oui	Leest, Morlanwelz, Ranst, Vorselaar, Ottenburg, Hofstade, Dendermonde, Bonheiden, Reet, Heist-op-den-Berg, Putte, Wommelgem, …	< 60 km
	Produits bitumés		-	-	-	-
	Verre	Simple v.	-	-	-	-
BOIS	Bois plein	Gîtes/ pannes, chevrons, lattages,	+	oui	Wavre, Piétrain, Wommelgem, Temse velle, Gent, Ottenburg, Leest , Reet, Tremelo, Heist-op-den-berg, Walhain, Lierde,…	< 60 km
		Planchers /parquets	+	oui	Ottenburg, Leest, Piétrain, Lierde, Geert, Reet, Temse Velle, Gent, Asper, Lierde, Bonheiden, Heist-op-den-Berg, Walhain, Gembloux, Morlanwelz, La Louvière, Châtelet,…	< 60 km
		Châssis	+/-	oui	Zwijndrecht, Saint-Servais, Bonheiden, Lier, Elversele, Lierde, La Louvière, Châtelet	< 60 km
METAUX	Ferreux	Poutrelles acier	+/-	oui	Elversele, Eghezée, Châtelet, Wortegem, sint-Gillis-Waas	< 60 km
AUTRES	Chaux +sable		-	-	-	-

R+: réemploi; F: filières *Source: www.opalis.be*

Selon les informations communiquées sur le site www.opalis.be[29], aucune société professionnelle de revente de matériaux de seconde main n'est située sur le territoire bruxellois. Notons cependant qu'il existe à l'heure actuelle des marchés de type

29 - Opalis est la première interface créée par l'asbl Rotor avec le soutien de Bruxelles Environnement et l'Alliance Emploi-Environnement qui permet d'identifier les différents revendeurs de matériaux de construction de seconde main. Le site différencie ces revendeurs professionnels selon le type et la nature des matériaux de réemploi. L'outil, destiné aux architectes, particuliers et entrepreneurs, permet de repérer facilement l'offre en matériaux de construction de seconde main de façon relativement stable. Mais un objectif parallèle est également de rediriger certains 'déchets de construction' mal orientés vers les bonnes filières de valorisation. L'offre et la demande pouvant ainsi se rencontrer.

« informel » qui permettent d'écouler une certaine quantité de matériaux récupérés sur chantier pour leur donner une seconde vie. Il peut s'agir d'entreprises récupérant des éléments 'faciles' à replacer (comme certains sanitaires, radiateurs, châssis, etc.) et possédant des lieux de stockage suffisants en attendant leur replacement sur d'autres chantiers (voir même pour l'usage personnel de certains ouvriers). Ces marchés « informels », bien que dans une certaine mesure tout aussi signifiants à l'échelle régionale, ne sont pas repris ni sur le site opalis ni dans cette recherche, de par la variabilité de leur approvisionnement et le manque de données précises.

Nous remarquons toutefois que pour chacune des fractions identifiées, plusieurs revendeurs professionnels spécialisés (ou non) dans ce type de matériaux sont implantés dans un rayon de moins de 60 km par rapport à la RBC. Nous avons volontairement choisi un rayon de 60 km en référence à la réglementation portant sur l'obligation de recyclage de certains déchets de construction et démolition[30]. Nous sommes donc en mesure de croire que si une attention particulière est portée au démontage et au tri sélectif à la source, la majorité des déchets de l'existant peuvent à l'heure actuelle être valorisés par le réemploi. L'enjeu est alors de déterminer le bénéfice économique de l'opération, savante équation entre prix de revente/traitement et prix de la main d'oeuvre (pour le démontage et le tri). Il existe d'ailleurs certaines entreprises d'économie sociale qui se sont spécialisées dans ce type d'activité[31]. D'autres initiatives se sont également développées comme récemment la spin-off Rotor Deconstruction. Suite à son expérience accumulée depuis de nombreuses années dans la question du déchet et de son réemploi, l'asbl fait le constat qu'il existe une niche de potentiel de réemploi dans le secteur tertiaire, spécialement dans le cas des bureaux. En effet, le renouvellement fréquent de ces plateaux ou immeubles de bureaux et le caractère souvent standardisé, modulaire et démontable de nombreux éléments non structurels (cloisons, portes, sanitaires, revêtements de sol...) ont poussé Rotor à investir dans ce créneau. Après un inventaire précis reprenant quantités (et situation), prix et délais de disponibilité, ces matériaux sont mis « en vente » (parfois au plus offrant) puis démontés en attendant que leurs futurs propriétaires viennent les acquérir. Les prix représentent en général de 20 à 50% du prix neuf pour un matériau similaire. Il s'agit donc de « dépouiller » le bâtiment de ses attributs démontables avant le commencement prévus des travaux. L'organisation de ces ventes se fait donc dans des délais restreints (quelques mois au maximum). Certaines pièces à caractère remarquable sont récupérées d'office et stockées dans leurs locaux dans l'attente d'un futur acquéreur. Une recherche et un historique des éléments et/ou de leur concepteur (designer, architectes) sont proposés avec la fiche

30 - En effet, l'Arrêté du 16 mars 1995 du GRBC (MB 06.05.1995) spécifie à l'entrepreneur une obligation de recyclage pour les débris (fraction pierreuse et sableuse) issus de chantiers de démolition ou de construction, pour autant qu'il existe une installation de recyclage à moins de 60 km du lieu d'exécution des travaux.

31 - Se référer à cet effet, entre autre, à l'alliance emploi-environnement (Bruxelles) ou à l'asbl Ressources.

d'identité des produits[32]. Ce type d'activités, bien que particulièrement centré sur les bâtiments de bureaux qui ne représentent pas notre sujet d'étude, pourrait néanmoins trouver un certain écho, moyennant peut-être de petites adaptations, dans les bâtiments anciens rénovés dont il est question ici.

Opportunités de recyclage des fractions clés existantes

Les inertes

Il existe de nombreux centres de recyclage des inertes en Belgique, bien que la région bruxelloise en soit dépourvue. Cette filière est effectivement bien implantée dans notre pays et a suivi une évolution importante depuis les années « 90. Actuellement 46 centres de recyclage des déchets inertes sont repris en Région Wallonne par la Fédération des Recycleurs des Déchets de Construction (FEREDECO). Près de 90 centres étaient répertoriés en Belgique en 1999 [GHYOOT, 2014]. Ce chiffre est aujourd'hui certainement plus important vu l'évolution de la filière. Les concassés issus du recyclage des inertes sont considérés aujourd'hui comme une vraie matière première au « même titre » que les granulats naturels. Ils répondent en effet aux mêmes règles de mise sur le marché que n'importe quel produit neuf qui impose le marquage CE. Ce marquage n'est pas une garantie de qualité, mais atteste que le produit répond aux exigences essentielles de sécurité définies dans la Directive Produits de Construction communiquée par le Conseil de l'Union Européenne[33].

Malgré cette « reconnaissance » des granulats recyclés comme matières premières, leur utilisation dans le secteur de la construction comme éléments structurels dont la fonction est similaire à la fonction initiale tarde à se mettre en place[34]. En effet, ces granulats recyclés, selon leur nature (béton, mixte, maçonnerie ou hydrocarbonés), sont pour la plupart utilisés dans les infrastructures routières comme éléments de remblais, sous-fondations ou fondations, béton maigre, revêtement de chaussée en enrobés bitumineux[35]. Bien qu'il s'agisse déjà d'une valorisation du « déchet », nous considérons cette utilisation des granulats recyclés comme du *down-cycling*. La solution pour optimiser la situation actuelle serait de tendre plutôt vers une forme de recyclage plus optimale ou un *up-cycling*. Notons également que la qualité du recyclage dépend de la nature des granulats: les granulats de béton proposent effectivement des propriétés de résistance beaucoup plus intéressantes que les granulats

32 - Informations disponibles sur http://rotordeconstruction.tumblr.com et www.rotordb.org.
33 - Informations reprises sur le site de www.feredeco.be (consulté en dernier lieu le 26 juin 2015)
34 - La Recyhouse, projet pilote mené sur le site du CSTC à Limelette, est une construction basée entièrement sur l'utilisation de produits recyclés. Nous sommes étonnés que le développement de ce dernier (pourtant finalisé en 2001) n'ait pas eu plus d'impacts dans l'incitation à utiliser les granulats recyclés dans la construction de bâtiments.
35 - Circulaire ministérielle du 9 mai 1995 relative à la réutilisation des débris dans les travaux routiers et d'infrastructure (M.B 22.09.1995).

mixtes ou de maçonnerie. C'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles le prix de versage sur les sites de recyclage est dégressif en fonction de la pureté des fractions déposées, et ce, en faveur des débris de béton. Encore une fois, nous revenons sur l'importance d'un tri sélectif à la source.

Concernant les opportunités de recyclage de ces granulats recyclés dans des bétons dits « structurels », le CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction), en collaboration avec d'autres acteurs, travaille actuellement sur l'élaboration de nouveaux bétons contenant une part de granulats recyclés[36]. L'objectif de l'étude est de montrer les possibilités techniques de la réalisation de béton structurel en substituant aux granulats naturels des granulats recyclés en proportion progressive (20,30,50%). Il s'agit en réalité (et sur base de tests) de définir le taux limite d'utilisation de granulats recyclés dans le béton structurel afin que ce dernier respecte toujours les exigences autorisées en Belgique en matière de durabilité et de résistance à la compression. Notons qu'actuellement, le recours aux granulats recyclés de béton ou mixtes est autorisé selon un taux maximal de 50% pour la réalisation de béton non armé en environnement intérieur[37].

Le béton étant non adapté au réemploi, encourager son utilisation dans un processus de recyclage optimal est primordial, alors que pour les éléments existants en terre cuite (principalement brique pleine et tuiles), le réemploi devrait être la première étape à mettre en oeuvre dans un objectif de valorisation maximale. Cette démarche se justifie d'autant plus que la fabrication de ces matériaux en terre cuite présente des impacts environnementaux non négligeables, et que leur recyclage en granulats offre un produit secondaire de qualité inférieure à celle du béton actuellement moins valorisable selon une démarche d'*up-cycling*.

Les bois

Actuellement, les déchets de bois sont valorisés de différentes manières.Ils peuvent être réutilisés via un réemploi dont nous avons vu qu'il existait certaines filières dans la section précédente (voir opportunités de réemploi). Il s'agit principalement d'éléments de menuiseries (intérieures ou extérieures), de bois nobles (essences coûteuses) sous forme de poutres, parquet, bardage... Certains déchets sont également recyclés principalement dans l'industrie du panneau (OSB, MDF, stratifié, aggloméré...) ou sous forme de combustible commercialisable (pellets). Il s'agit encore une fois plus de *down-cycling* que de recyclage. Notons également que ce procédé n'offre à l'heure actuelle qu'un seul cycle de recyclage. Enfin, le bois peut évidem-

36 - Le projet RECYBETON est un projet de deux ans s'étalant de 2014 à 2016 (source: www.cstc.be).

37 - Selon la norme NBN EN 206 (2014) remplaçant la norme précédente NBN EN 206-1 (2001), l'utilisation de granulats recyclés de béton ou mixtes est envisageable selon des taux de substitution variables dépendant de la classe d'environnement et du type de granulats utilisé (source:www.cstc.be).

ment être brûlé pour le chauffage ou dans une unité de valorisation énergétique.

Malheureusement, ces différentes possibilités de valorisation se voient souvent réduites dans le cas des bois utilisés dans le secteur de la construction. En effet, pour assurer sa résistance aux diverses agressions (insectes, humidité, champignons), le bois de construction est généralement traité avec des fongicides et des pesticides, il peut également être « contaminé » par l'ajout de colles ou de peintures. Au XIXe et début du XXe siècle, de nombreux bois de structure utilisés dans la construction sont même traités à l'aide de céruse de plomb (ou minium de plomb) particulièrement toxique. Tous ces traitements annihilent les possibilités de recyclage des bois en fin de vie ou même leur utilisation comme bois de chauffage (même si cette valorisation est moins intéressante). La plupart du temps, les déchets de bois provenant de chantiers seront donc conduits vers des unités de valorisation énergétique (UVE), pourtant classées en avant-dernière position dans la hiérarchie d'action. Dès lors, comment agir pour tendre vers une optimisation de la valorisation des éléments bois dans les constructions existantes ?

Étant donné que le traitement de ces bois est difficilement déterminable (invisible à l'oeil nu), la mesure de précaution est de rigueur. La première étape d'une valorisation de ces matériaux serait de conserver les éléments bois en état si aucune dégradation ou problème de stabilité ne sont observé (principalement concernant les bois de structure). En outre, les bois utilisés dans les bâtiments anciens sont souvent d'essence noble (menuiseries, parquets). Leur qualité intrinsèque (liée à leur essence), et leur valeur patrimoniale justifieront dans de nombreux cas leur conservation ou leur réemploi selon les cas. Il s'agit là de valorisation optimale. Les opportunités de recyclage de ces bois anciens dépendent donc du traitement éventuel qu'ils ont subi: le recyclage sera souvent évité pour les bois de structure (la plupart du temps traités) et sera appliqué aux autres bois non traités seulement dans le cas où un réemploi n'est pas envisageable. Nous n'avons malheureusement pas plus d'outils actuellement pour proposer de meilleure solution d'optimisation en particulier concernant le recyclage de ces déchets de bois.

Les métaux

Les métaux constituent à l'heure actuelle la fraction la mieux triée sur chantier. La raison est simple: leurs déchets présentent une valeur monétaire particulièrement intéressante (surtout pour certains métaux). En outre, leur recyclage s'avère être une opération particulièrement efficace puisqu'il s'agit d'une technologie éprouvée qui, de plus, peut être opérée indéfiniment dans le cas de certains métaux comme l'aluminium (100% recyclable comme le verre). Après être passés par le broyeur, les différentes phases de tri (aimant, tri optique, bains...), le cisaillage et le compactage, les déchets ferreux (ou ferrailles) sont ensuite fondus (au four électrique ou au haut-fourneau) pour servir à la fabrication de nouveaux aciers (armatures principalement).

Les métaux non-ferreux du secteur du bâtiment concernent surtout l'aluminium, le zinc, l'inox, le cuivre, l'étain dans une moindre mesure. Ces métaux subissent également les différentes opérations de tri, broyage, compactage, avant de devenir de nouvelles matières premières envoyées vers les fonderies ou les aciéries[38]. Notons toutefois que les prix de ces nouvelles matières premières dépendent fortement du cours de la bourse et de la spéculation, d'où leur caractère variable et imprévisible.

Étant donné la qualité actuelle du recyclage des métaux, il nous est difficile de proposer des solutions d'optimisation de ce système, déjà bien opérationnel. Nous souhaitons néanmoins attirer l'attention sur le fait que les processus de fabrication de ces matières sont extrêmement consommateurs d'énergie et de ce fait, leurs impacts environnementaux sont non négligeables. Dans la mesure du possible, ces matériaux devraient donc être conservés ou réemployés puisque cette approche permet en quelque sorte de « rentabiliser » l'énergie initiale consentie à leur fabrication.

Dans leur ensemble, les processus de recyclage des matériaux de l'existant, même s'ils ne sont pas encore en mode *up-cycling*, semblent offrir des opportunités certaines pour le secteur de la construction. L'installation de dispositif de recyclage pour ces matières peut paraître normale vu l'utilisation ancienne, presque ancestrale, de ce type de matériaux dans les bâtiments. Depuis lors (car le recyclage n'est pas une valorisation nouvelle) et depuis l'émergence de la problématique environnementale, il paraît presque normal que ces dispositifs aient été développés.

Le tableau ci-dessous reprend de manière synthétique les possibilités de filières de recyclage pour les différentes fractions de l'existant étudiées.

Tableau 4.40 : Valorisation des fractions clés (existantes) vers le recyclage - filières

FRACTIONS		Matériau	R	F	Centre de recyclage	Distance
INERTES	Terre cuite	Briques	+	oui	Mont-Saint-Guibert (VALOREM), Chaumont-Gistoux (VALOREM), Wellin (RECYNAM) Farciennes (RECYMEX), Saint-Ghislain (RECYMEX), Lives-sur-Meuse (RECYNAM), île Monsin (RECYLIEGE), Flémalle (RECYLIEGE), Thimister (RECYLIEGE), Seraing (RECYLIEGE), Cerexhe-Heuseux (RECYLIEGE), Vaulx (RECYHOC): 12 centres de recyclage rien que pour le groupe TRADECOWALL.; Nivelles (RECYPLUS), Ceroux-Mousty (HAULOTTE), etc	< 60 km
		Tuiles	+	oui		
		Dalles	+	oui		
	Béton	Dalle	++	oui		
		(Blocs)	+	oui		
	Granito		+	oui		
	Carrelages	Carreaux de ciment	+	oui		
	Pierre	Seuils	++	oui		

38 - Informations provenant en partie de la FEDEREC, groupement professionnel des acteurs du recyclage en France et membre fondateur de l'Institut de l'économie circulaire (www.federec.org).

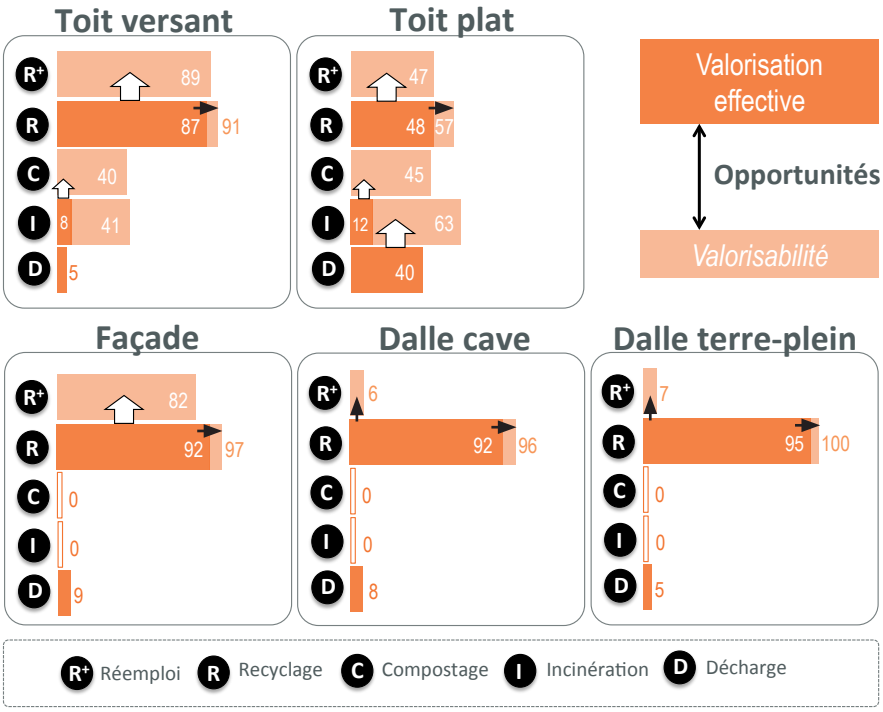
FRACTIONS		Matériau	R	F	Centre de recyclage	Distance
INERTES	Produits bitumineux		+/- à - *	+/-	Il existe actuellement 3 distributeurs sur Bruxelles (Anderlecht) auprès desquels les chutes d'étanchéité (derbigum) peuvent être amenées en vue de leur recyclage. Les étanchéités bitumineuses provenant de constructions existantes sont néanmoins souvent souillés et offrent peu de possibilités de recyclage	< 60 km
	Verre	Simple v.	++	oui	réintroduit dans la fabrication de laine de verre, verre cellulaire, contenants en verre ou même da verre plat	Belgique
BOIS	Bois plein	poutres, lattages,	+	oui		Belgique
		Parquets	+	oui		
		Châssis	+/-	oui		< 60 km
ME-TAUX	Ferreux	Poutrelles acier	++	oui	Port de Bruxelles (COMET): centre de regroupement	< 60 km
AUTRES	Chaux +sable		-	-	-	-

R: recyclage; F: filières
** Le recyclage s'effectue essentiellement pour les chutes de production et de mise en oeuvre, les déchets provenant d'anciennes toitures présentant trop d'impuretés.*

Opportunités d'optimisation dans le cas des parois types analysées

Pour finaliser l'exercice d'analyse des parois types, nous proposons ici de comparer les résultats de potentiels obtenus dans l'évaluation qualitative précédente avec la valorisation effective que subirait cette paroi actuellement. Comme il s'agit du chapitre relatif aux *déchets ou ressources d'aujourd'hui*, nous avons uniquement considéré les parois types existantes, celles qui sont à l'origine de la nature des « déchets » produits par l'opération de rénovation énergétique. Pour calculer la valorisation effective des parois, nous nous sommes basés sur les tableaux préalablement présentés dans le chapitre sur les parois types et fractions clés [OVAM, 2011_A]. Étant donné que les données de valorisation effective sont communiquées au poids de déchets, nous avons bien entendu aussi considéré l'unité de poids pour l'évaluation de la *valorisabilité*. Notons toutefois que la somme des différentes valorisations effectives équivaut à 100%. Alors que l'évaluation de la *valorisabilité* représente les potentiels maximums de la paroi par type de valorisation envisagée, leur somme peut donc aller au-delà des 100%. Les comparaisons de résultats entre valorisation potentielle et effective sont reprises ci-après.

Figure 4.26: Comparaison *valorisabilité* et valorisation effective des parois types existantes (en %)



Nous pouvons observer dans le cas de la **façade**, une valorisation effective particulièrement intéressante en matière de recyclage. Mais il reste quand même 8% de mise en décharge. Un des objectifs poursuivis dans une optique de bouclage des flux est d'éliminer la mise en décharge, qui constitue une fin de course de la matière. Le premier pas dans l'atteinte de cet objectif serait donc de pouvoir répartir ces 8% vers les premiers degrés de valorisation: le réemploi et le recyclage puisque le compostage et l'incinération ne sont pas applicables dans ce cas de figure. Au regard des résultats de *valorisabilité*, nous pouvons remarquer que la paroi type, essentiellement composée de briques pleines (près de 97% de la paroi en ce compris le mortier à base de chaux), offre également un potentiel de réemploi conséquent. Nous avons pu voir précédemment que les briques pleines jouissent de l'existence de filières de revente de matériaux de seconde main de ce type. L'optimisation de la valorisation de ce genre de paroi vers le réemploi est donc tout à fait plausible en considérant que certaines entreprises puissent être spécialisées dans ce type de service: démonter les murs de briques et remettre ces dernières en état de réutilisation (nettoyage). Au vu des potentiels identifiés, une partie de la valorisation effective vers le recyclage pourrait être détournée vers le réemploi et les 8% de mise en décharge devraient idéalement être envoyés vers le recyclage. Une optimisation est donc réellement applicable à ce

cas de figure.

Concernant la **toiture à versant**, nous pouvons également observer un recyclage effectif particulièrement performant (87%). Nous tenons à préciser que ces bois ont été considérés comme non traités dans l'évaluation de la *valorisabilité*, c'est pourquoi nous les avons considérés de la même manière dans le cas du calcul de leur valorisation effective. Si l'ensemble du bois plein de structure utilisé dans la charpente était traité, le taux de recyclage effectif pour cette paroi ne représenterait plus que 56%, uniquement dû à la couche de tuiles en terre cuite. Considérés comme non-traités, ces bois sont donc recyclés et non incinérés, l'incinération effective ne constitue dès lors que 1% (ce taux passerait à 37% dans le cas de bois traités). Enfin, seulement 5% des matières seraient mis en décharge. En considérant le potentiel de valorisation, nous remarquons qu'il existe également un important potentiel de réemploi (85%). Dans le cas des tuiles en terre cuite et des éléments structurels en bois (pannes, chevrons), l'identification des filières de réemploi ainsi que les modes d'assemblages utilisés (facilement démontables) nous permettent d'avancer que ces matières possèdent un réel potentiel d'optimisation pour passer du recyclage vers le réemploi. Notons que si les bois sont traités, cela n'empêche pas forcément leur réemploi. Il serait donc envisageable de détourner de l'incinération une certaine proportion de ces bois vers le réemploi. Les 5% de mise en décharge pourraient potentiellement être redirigés vers les quatre degrés de valorisation puisque la toiture à versant possède un potentiel pour chacun d'eux.

Les résultats de valorisation effective de la **toiture plate** sont moins marqués en faveur du recyclage puisqu'un peu moins de la moitié des matériaux contenus seraient recyclés (48%), une petite partie serait incinérée (12%) et une part presque similaire au recyclage serait mise en décharge (40%). Comme pour le cas de la toiture à versant, les éléments en bois sont considérés comme non traités, ce qui joue en faveur du recyclage. Nous pouvons donc dire que la valorisation effective calculée est déjà une valorisation effective optimale en soi. Si nous envisageons maintenant les potentiels de valorisation, ils présentent des résultats également moins « attrayants » que dans le cas des deux composantes précédentes. À part dans le cas des gîtes en bois plein, nous voyons peu de possibilités d'optimisation vers le réemploi dont le potentiel est pourtant estimé à 46%. Les résultats d'incinération effective (12%) proviennent également du bois contenu dans la paroi. La valorisation de ce dernier pourrait dès lors être optimisée vers le réemploi, le recyclage ou le compostage. Notons toutefois que la couche en bois utilisée en support pour l'étanchéité de toiture présente certainement des résidus d'étanchéité limitant les possibilités de valorisation plus élevées dans la hiérarchie d'action (réemploi/recyclage et même compostage).Les matériaux bois de ce type seront vraisemblablement dirigés vers l'incinération. Concernant les deux autres types de matériaux, l'étanchéité bitumineuse et les plaques en fibroplâtre actuellement mis en décharge, nous pourrions imaginer que les techniques de recyclage évoluent et acceptent une plus grande part d'impureté

par exemple. Malheureusement, la démonstration de cette hypothèse reste à faire. Si nous voulons agir pour réduire, et au final éliminer le taux de mise en décharge de ce type de paroi, c'est essentiellement sur l'amélioration de la valorisation des plaques en fibroplâtre existantes qu'il faudra agir. Or, plusieurs degrés de valorisation sont déjà à proscrire pour ce matériau, comme le réemploi ou l'incinération voire le compostage, il ne reste au final que le recyclage.

La paroi type existante reprise pour la composante **dalle de cave** présente un taux de recyclage effectif particulièrement élevé avec 92%. Alors que la mise en décharge n'est que de 8%. En effet, cette dalle est essentiellement composée de matériaux inertes. Or, le potentiel de réemploi est évalué à 6% seulement et concerne exclusivement les carrelages. Dès lors quelle est l'optimisation envisageable ? Nous pourrions compter sur la récupération des carrelages et carreaux, matériaux encore largement appréciés lorsqu'ils sont d'origine et possédant des filières de revente. Néanmoins, cela représente, comme nous l'avons vu, au maximum quelques pourcents (les 6% ne comptabilisent pas les pertes éventuellement liées au démontage, transport, etc.). Les 8% de mise en décharge pourraient ensuite être en partie redirigés vers la filière de recyclage, en tout cas en ce qui concerne la fraction des inertes, puisque le fibroplâtre existant est plus problématique à ce sujet. Enfin, l'optimisation peut s'opérer au sein même du processus de recyclage. En effet, nous avons préalablement parlé des finalités d'utilisation des granulats recyclés qui relevaient actuellement plus du down-cycling. Le recyclage versus up-cycling (dont la recherche menée par le CSTC fait partie) est donc tout à fait envisageable dans une optique d'optimisation. Mais la capacité d'action à ce niveau est quelque peu en dehors des compétences de l'architecte.

Enfin, la **dalle sur terre-plein** présente des résultats de valorisation effective similaires à ceux de la dalle sur cave. À savoir, un recyclage effectif presque maximal et quelques pourcents de matières mise en décharge (5%). De nouveau, seule la couche de carrelage peut être envisagée dans le cas d'une optimisation vers du réemploi. Il ne s'agit malheureusement que de quelques pourcents. À nouveau, l'optimisation de la valorisation ne peut dès lors s'opérer de manière significative que dans le cas d'une amélioration de l'utilisation finale des granulats recyclés concernant la fraction inerte.

En conclusion, les composantes de **façade** et **toiture à versant** sont celles qui offrent le plus d'opportunités en matière de valorisation par le réemploi (potentiel de l'ordre de 80%). Pour la première comme pour la seconde, cette opportunité est liée principalement au caractère démontable et nettoyable des éléments et à l'existence de filières de revente. La **toiture plate** offre également quelques opportunités, essentiellement concernant ses éléments de structure en bois (potentiel d'un peu plus de 40%). Les dalles quant à elles possèdent un très faible potentiel de réemploi (6%). Les

opportunités de recyclage sont particulièrement possibles dans le cas de la fraction inerte qui concerne la façade, mais surtout les dalles.

4.6.2. Déchets ou ressources de demain

De la même manière que nous avons interrogé les possibilités d'optimisation de valorisation des déchets de l'existant, nous nous interrogeons ici sur les possibles situations auxquelles nous aurons à faire face dans nos futures interventions en matière de valorisation des matières. Bien entendu, cette « mise en situation » est implantée dans le contexte actuel qui aura tendance à évoluer dans le temps. Or, nous sommes dans l'incapacité de pouvoir prédire cette évolution puisqu'elle est dépendante de nombreux facteurs difficilement prévisibles. L'objectif est donc de mettre en lumière les difficultés de valorisation qui pourraient être rencontrées lorsque la production de déchets dont l'origine représente les matériaux que nous mettons en oeuvre aujourd'hui deviendra conséquente (dans un moyen/long terme). De manière beaucoup plus globale, nous souhaitons démontrer que nos choix actuels conditionnent en partie les possibilités d'utiliser ces déchets comme ressources dans le futur. Dans le contexte actuel, nous ne pouvons nous permettre de fermer les yeux plus longtemps sur les conséquences que peuvent porter ces choix. En effet, dans la perspective où la consommation de ressources et la production de déchets deviennent problématiques à gérer et où nous sommes en grande partie dépendants concernant notre approvisionnement, valoriser nos ressources potentielles locales est une action à envisager en priorité.

<u>Opportunités générales d'optimisation</u>

Dans la même optique que celle proposée pour les *déchets ou ressources d'aujourd'hui*, nous avons repris un tableau synthétisant par type de matériau et par fractions les différentes opportunités de valorisation possibles.
Nous pouvons d'ores et déjà remarquer que le nombre de matériaux de type différent a fortement augmenté (voir définition des fractions clés). En outre, il apparaît que ces nouvelles matières ajoutées aux parois offrent des opportunités de valorisation et de tri plus restreintes que celles de l'existant.

Concernant les **inertes**, les tendances observées sont les mêmes que pour l'existant en matière d'opportunités de valorisation, sauf dans le cas du béton cellulaire, plus problématique et trié seulement dans 30% des cas sur chantier. Les matériaux en **bois** plein aussi offrent les mêmes possibilités que précédemment. Cependant, nous observons l'introduction de matériaux dérivés du bois tels que les panneaux d'OSB, MDF, multiplex qui, pour leur part, apparaissent nettement moins « valorisables ». Évidemment, ils sont eux-mêmes issus du recyclage de déchets de bois, il n'empêche qu'ils possèdent un potentiel limité de réemploi et de recyclage (uniquement sur site de production). Quant à leur valorisation organique, elle peut être fortement

compromise par la teneur en colle de ces panneaux. Notons qu'en plus, la fraction de bois fait malheureusement l'objet d'une faible attention quant à son tri sur chantier. Pour les **métaux**, le caractère recyclable de ces matières n'est pas compromis par l'arrivée de nouveaux produits comme les métal stud, mais ces derniers n'offrent cependant aucune possibilité de réemploi. Ils font dans la majorité des cas l'objet d'un tri sélectif sur chantier. Quant aux **liants minéraux et dérivés**, ils offrent depuis peu une filière de recyclage près d'Anvers. Toutefois, les degrés d'impureté acceptés par l'entreprise nécessitent que ces matériaux (blocs et plaques principalement) soient triés à la source de manière sélective, or, seulement 5% semblent être triés sur site. Les **matières plastiques** de l'enveloppe concernent principalement les membranes d'étanchéité, les freins-vapeur et pare-vapeur. Ces membranes et films ne sont pour ainsi dire jamais triés. Bien que leurs proportions soient limitées, il apparaît vraisemblable, au vu des exigences en matière d'étanchéité à l'air des enveloppes, qu'une quantité plus ou moins significative de ces membranes soient amenées à être gérées dans le cas d'interventions ultérieures. Enfin, les nouvelles matières principales ajoutées à l'enveloppe concernent surtout les **isolants**. De nouveau, ces derniers ne font l'attention d'aucun tri sélectif, étant donné qu'à l'heure actuelle peu de chantiers doivent faire face à ce type de déchets en quantité importante (sauf peut-être dans le cas de certaines laines minérales). Il est possible qu'à l'avenir, un changement de pratiques soit opéré avec l'augmentation de leur production comme déchets.

Tableau 4.41 : Opportunités de valorisation des fractions (projetées)

FRACTIONS		Matériau	R+	R	C	I	Trié**
INERTES	Terre cuite	Briques	++	+	-	-	
		Tuiles	++	+	-	-	
		Dalles	++	+	-	-	
	Béton	Dalle armée	-	++	-	-	75%
		(Blocs béton de cendrée)	-	+/-	-	-	
		Poutrains	-	+	-	-	
		Blocs béton creux	-	+	-	-	
		Blocs béton cellulaire	-	+/-	-	-	30%
	Carrelages, revêtement de sol	Granito	-	+	-	-	
		Carreaux de ciment	++	+	-	-	75%
		Carrelage en grès cérame	+/-	+	-	-	
	Pierre	Seuils de fenêtre	++	+	-	-	
	Produits bitumineux	Membranes d'étanchéité	-	+/-	-	+	0%
	Verre	Double/triple vitrage (verre plat)	+/- (châssis)	+	-	-	70%

FRACTIONS		Matériau	R+	R	C	I	Trié**
BOIS & dérivés	Bois plein (non traité)	Gîtes/pannes, chevrons, lattages	+	+	+	+	40%
		Planchers/parquets	+	+	+	+	
		Châssis	+/-	+/-	+/-	+	
		Bardage	+	+	+	+	
	Bois plein traité (Pb)*	Certaines poutres de l'existant (?)	+/-	-	-	+	
	Bois plein L-C	Partie FJI (= OSB + LC)	+/- à +	+/-	+?	+	
	Panneaux	OSB	+/-	+/-	+?	+	
		Multiplex	+/-	+/-	+?	+	
		Bitumés (ss-toit ou pare-pluie)	+/-	+/-	-	+	
METAUX	Ferreux	Poutrelles/plats en acier	+/-	++	-	-	85%
	Non-ferreux	Métal stud	-	+	-	-	
LIANTS MINERAUX & dérivés	Enduits	Plâtre, et al	-	-	-	-	0%
	Plaques	Carton-plâtre, fibro-plâtre	-	+/-	-	-	5%
	Blocs	Silico-calcaire	-	+/-	-	-	
	Mortiers	Ciment, colle	-	-	-	-	0%
PLASTIQUES & dérivés	Thermoplast.	Pare-vapeur, freine-vapeur	-	-	-	+	0%
	Élastomères	EPDM	-	+/-	-	+	
ISOLANTS	Naturels organiques	Panneaux rigides (fdb, liège)	- à +/-	+/-?	+?	+	0%
		Panneaux souples (ldb,cellulose)	- à +/-	+/-?	+?	+	
		Cellulose ou liège (vrac)	+	+	+?	+	
	Synthétiques org. (EPS, XPS, PUR, PIR, résol)	Panneaux rigides	+/-	+/-?	-	+	
		Projeté	-	-	-	+	
	Synth. inorg.	Laine de verre	-	+/-	-	-	
PAPIERS-CARTONS	Cartons	Freine-vapeur	-	-	-	+	?
AUTRES	Chaux +sable		-	-	-	-	0%

R+: réemploi; R: recyclage; C: compostage/valorisation organique; I: incinération/val. énergétique

++ Particulièrement adapté
+ Adapté
+/- Moyennement adapté (selon les cas) ou peu probable
- Pas du tout adapté
****** Les données de tri sont communiquées dans l'étude de l'Ovam (OVAM, 2011a)
***** Les bois étaient initialement traités au Pb (XIX et début XX) hautement toxique, la toxicité est-elle toujours 'réelle' après autant d'années ? Un réemploi peut-il être envisageable ? Ces bois ne sont-ils finalement pas quand même envoyés vers les filières de recyclage?

Opportunités de réemploi des fractions clés projetées

Comme dans le cas des fractions clés de l'existant, nous avons repris dans un tableau présenté ci-après, la possibilité de réemploi (+,+/-, -), l'existence de la filière et la distance à parcourir jusqu'au premier site de revente et de dépôt le plus proche (www.opalis.be). Comme il a été indiqué précédemment, aucun revendeur de matériaux de construction de réemploi n'est situé dans un rayon inférieur à 20 km de Bruxelles. Néanmoins, il est aisé d'en trouver à des distances inférieures à 60 km, distance maximale de référence proposée dans cet ouvrage, en référence à la réglementation régionale sur l'obligation de recyclage de la fraction pierreuse.

Nous pouvons déjà observer certaines tendances, plusieurs matériaux neufs mis en oeuvre ne possèdent aucune filière de revente alors qu'il est relativement aisé d'en trouver pour les matériaux liés à l'existant. En effet, nous retrouvons parmi ces matériaux des isolants, des éléments de finition en plâtre (plaques, enduits), des films pare-vapeur et d'étanchéité, des métal stud, qui présentent tous de faibles possibilités de réemploi: faible résistance aux usages répétés, question de garantie des performances, altérations liées aux opérations de démontage ou démolition incontournable. Aucun de ces matériaux ne figure d'ailleurs dans les types de matériaux de seconde main. D'autres matériaux neufs par contre, pourraient représenter un potentiel de réemploi puisqu'ils s'intègrent en partie dans les catégories (non exhaustives) de revendeurs reprises sur le site Opalis: les parquets, poutres et éléments de structure en bois, les tuiles et carrelages (cela dépend néanmoins du mortier utilisé), métaux de structure, châssis. Les nouvelles briques et blocs sont en général creux, contrairement aux anciennes briques pleines, et sont fixés à l'aide de mortier colle ou de mortier de ciment, ce qui aura comme conséquence d'annuler leur possible réemploi ultérieur. Enfin, les panneaux de bois (OSB, MDF, multiplex) ne sont à l'heure actuelle pas ou peu réemployés à part dans quelques cas précis comme celui des panneaux multiplex utilisés pour le coffrage des bétons ou comme support de séchage pour les blocs en béton. Néanmoins, ces matériaux possèdent certaines caractéristiques qui leur confèrent des qualités exploitables en matière de réemploi bien que peu de filières les exploitent actuellement.

Le tableau ci-après reprend ce qui vient d'être discuté.

Tableau 4.42 : Valorisation des fractions clés (projetées) vers le réemploi - filières

FRACTIONS		Matériau	R+	F	Revendeurs	Distance
INERTES	Terre cuite	Briques pleines	++	oui	Kampenhout, …	< 60 km
		Briques creuses	+/-	-	-	-
		Tuiles	++	oui	Reet, Lierde, …	< 60 km
		Dalles	+	oui	Geel, Zegelsem, …	< 60 km
	Béton	Dalle, poutrains, blocs	-	-	-	-
	Carrelages, revêtement de sol	Granito	-	-	-	-
		Carreaux de ciment (existant)	++	oui	Geel, Zegelsem, …	< 60 km
		Carrelage en grès cérame	+/-	oui	Geel, Zegelsem, …	< 60 km
	Pierre	Seuils	++	oui	Leest, Morlanwelz,…	< 60 km
	Produits bitumineux		-	-	-	-
	Verre	Simple, double, triple vitrages	+/-	Certaines fenêtres sont récupérées et revendues à la pièce, leur vitrage est alors indissociable du châssis (<60km)		
BOIS	Bois plein	Gîtes/pannes, chevrons, lattages,	+/- à ++*	oui	Wavre, Piétrain, …	< 60 km
		Planchers /parquets	+	oui	Ottenburg, Leest, …	< 60 km
		Châssis	+/-	oui	Zwijndrecht, …	< 60 km
		Bardage	+	oui	Ottenburg, Leest, …	< 60 km
BOIS	Panneaux	OSB	+/-	non	-	-
		Multiplex	+/-	non	-	-
		Bitumés	-	-	-	-
METAUX	Ferreux	Poutrelles/plats	+/-	oui	Elversele, Eghezée, …	< 60 km
	Non-ferreux	Métal stud	-	-	-	-
L.M.	Enduits, plaques, blocs et mortiers		-	-	-	-
PLASTIQUES	Thermoplastiques	Pare-vapeur, frein-vapeur	-	-	-	-
	Elastomère	EPDM	-	-	-	-
ISOLANTS	Naturels organiques	Panneaux rigides (fdb ou liège)	-	-	-	-
		Panneaux souples (fdb ou cellulose)	?	-	-	-
		Cellulose ou Liège (vrac)	+/-	non	-	-

FRACTIONS		Matériau	R+	F	Revendeurs	Distance
ISOLANTS	Synth.organiques	Panneaux rigides (EPS, XPS, PUR, PIR, résol)	-	-	-	-
	Synth.inorganiques	Laine de verre	?	-	-	-
AUTRES	Papier cartonné armé	Frein-vapeur	-	-	-	-
	Chaux +sable		-	-	-	-

R+: réemploi; F: filières; L.M: Liants Minéraux Source pour la localisation: www.opalis.be
** : Le traitement du bois est une problématique qui pose question pour tout type de valorisation (peut-être un peu moins pour le réemploi).*

En conclusion, à part les matériaux neufs entrant dans les mêmes caractéristiques et catégories de matières que les existants offrant déjà des opportunités de réemploi[39], peu de nouveaux matériaux mis en oeuvre dans les opérations de rénovation énergétique actuelles satisfont à cette opération de valorisation, soit à cause de leurs qualités intrinsèques et mise en oeuvre, soit par manque de filières (bien que cette situation puisse évoluer).

Notons toutefois que le réemploi est une valorisation possédant certaines particularités et une dimension peut-être plus « subjective » par rapport aux autres types de valorisation. Effectivement, ce n'est pas parce qu'un matériau est identifié comme réemployable qu'il le sera forcément. Le fait d'être techniquement intéressants, d'être faciles à démonter et à récupérer par exemple, est une condition nécessaire, mais pas suffisante. Répondre à ces aspects ne garantit pas encore que les matériaux vont rencontrer du succès ou qu'ils vont répondre à une demande. Ils doivent pouvoir jouer sur d'autres registres: ceux du goût et de la satisfaction des désirs. » [GHYOOT, 2014, p.113]. En effet, l'auteur cité met en avant le fait qu'un même matériau de réemploi selon qu'il soit « valorisé dans sa présentation » ou présenté dans un bric à brac d'objets divers sera certainement plus facilement vendu dans le premier cas, même si le prix du second est plus attractif. Dans le second exemple, les acheteurs potentiellement intéressés constituent un public restreint. Dans le premier par contre, la « mise en scène » du matériau de réemploi comme « matériau presque neuf » le rendra attrayant pour un plus large public. Les critères techniques et de coût, même s'ils représentent des arguments de choix importants, ne suffisent

39 - Les matériaux de construction de réemploi et leurs revendeurs figurant sur le site d'Opalis concernent:
- pour le bois: les bois de construction, planchers/parquets, portes et poutres
- pour les inertes: les pierres naturelles, briques, carrelages, pavés, pierre bleue et tuiles (couvre-murs)
- pour les autres: les antiquités architecturales, les métaux structurels, les appareils électriques et de chauffage, les châssis, les intérieurs de bureaux et les sanitaires.

donc pas à garantir le réemploi de certains matériaux puisque leur réutilisation dépendra aussi de facteurs d'ordre plus « subjectif » (à la fois sociétal, culturel et individuel). La question du « statut » du déchet (hors définition légale) et par extension de la valeur des objets de réemploi est une question passionnante puisqu'elle s'insère dans un contexte socio-économique et culturel bien précis qui dépend également de l'héritage des périodes antérieures et des évolutions qui ont été opérées dans la gestion des ressources et déchets. Cette question dépasse toutefois le champ de cette recherche, mais son étude permettrait de comprendre certains mécanismes qui font que pour une partie de notre population occidentale le réemploi n'ait pas la « cote ». En effet, les citoyens représentent à l'heure actuelle les premiers acteurs de changement, une transition ne peut être opérée sans leur participation et « consentement ». C'est pourquoi un travail d'information et de sensibilisation est essentiel.

Opportunités de recyclage des fractions clés projetées

Nous avons préalablement discuté des opportunités de recyclage de certaines fractions (voir *opportunités de recyclage des fractions clés existantes*). Nous ne reviendrons pas sur les filières préalablement citées sauf pour les compléter quant aux opportunités existantes ou non de nouveaux types de matériaux s'insérant dans les catégories de fraction concernées.

Les inertes

Les inertes ont déjà été traités précédemment. Les opportunités d'optimisation résident dans les possibilités techniques, légales et réglementaires d'utilisation des granulats recyclés pour des applications au moins similaires à leur fonction initiale: par exemple, l'opportunité pour les déchets de béton de construction de constituer une matière première secondaire pour la fabrication de nouveaux bétons structurels. Plusieurs études travaillent en ce sens à l'heure actuelle.

Cependant, même si nombre de nouveaux matériaux inertes rejoignent les filières de recyclage déjà existantes, nous retiendrons le cas particulier du béton cellulaire (ou béton cellulaire autoclavé), appelé « béton" mais ne pouvant être assimilé à ces déchets pour leur traitement. En effet, ce matériau composé essentiellement de poudre de sable, de ciment, de chaux, de gypse, d'eau et de poudre d'aluminium connaît, grâce à ses propriétés isolantes (structure poreuse contenant de l'air), une croissance importante de son application dans le secteur du bâtiment. Plusieurs obstacles se posent néanmoins quant à son recyclage. Sa faible densité et sa faible résistance ont pour conséquence que les granulats recyclés de béton cellulaire ne peuvent être intégrés aux autres granulats recyclés d'inertes. En outre, le sulfate contenu dans ce matériau peut être la cause de problèmes techniques divers liés à l'utilisation de ces granulats dans la fabrication de nouveaux bétons: attaques et efflorescences principalement.

À l'heure actuelle, le béton autoclavé recyclé est utilisé hors du secteur de la construction: pour stabiliser et enrichir les terres, comme couche de couverture des décharges, comme produit rétenteur d'huile, comme remblai (aux Pays-Bas), ou encore comme litière pour chat. Néanmoins, une recherche menée par le VITO, l'OVAM et le CSTC démontre que l'utilisation de ces agrégats recyclés peut être faite sans risque pour au moins trois applications de la construction: l'utilisation en chape, dans certains bétons isolants (en remplacement de la fraction sableuse) ou comme substitut du sable stabilisé[40]. Le principal enjeu est de pouvoir contrôler la contamination due au gypse. Alors que l'initiale faiblesse de la faible densité peut être utilisée comme un atout (caractère isolant) dans la fabrication de béton de type isolant. Toutefois, même pour ces applications innovantes, les déchets de béton cellulaire employés doivent être exempts d'impuretés. Cela signifie qu'à l'heure actuelle, aucune réelle solution n'existe quant aux déchets de rénovation ou de démolition de ce type de matière. Une possible évolution des techniques de recyclage ainsi qu'un effort soutenu pour encourager un tri à la source et des modes constructifs moins « dépendants » entre couches de différente nature (limitation de la contamination par d'autres matériaux) pourraient sans doute améliorer la finalité d'usage de ces déchets recyclés.

Dans le cas des étanchéités de toiture, nous retiendrons également que, même si des procédés de recyclage existent, ils ne s'appliquent en général que pour les chutes de production (en usine) ou les chutes de mise en oeuvre directement triées, pour les mêmes raisons de contamination qu'énoncées ci-avant.

Les bois

Il a été également question de la fraction bois dans le chapitre sur les *opportunités de recyclage des fractions clés existantes*. Nous rajouterons quelques commentaires par rapport aux éléments en bois plein, mais également par rapport à l'introduction massive de panneaux de bois dans nos interventions actuelles.

Considérant qu'une majorité de bois sont à l'heure actuelle traités par des produits insecticides et fongicides, et qu'à partir du moment où ils sont traités leur recyclage est compromis (alors que leur réemploi ne l'est pas!), les solutions d'optimisation en ce qui concerne ce degré de valorisation pourraient être les suivantes: avant toute chose, selon la priorité d'action, favoriser leur réemploi constitue l'étape préliminaire. D'autant que nous avons pu identifier l'existence de revendeurs d'éléments de réemploi en bois plein (éléments structurels, poutres, parquet, menuiseries).

40 - L'étude s'intègre dans le cadre du projet IRCOW (Innovative Strategies for High-grade Material Recovery from Construction and Demolition Waste) dont l'objectif principal est le développement et la validation de solutions technologiques innovantes en vue de réaliser une valorisation efficace des déchets de C&D dans une perspective de cycle de vie. Il s'agit d'un projet s'intégrant dans le septième programme cadre de recherche et de développement européen (FP7) et mené de 2011 à 2014.

Ensuite, la seconde démarche consisterait à se passer de traitement. Dans bien des cas, ce traitement est réalisé de manière systématique et par mesure de précaution. Or, se passer de traitement n'est envisageable que dans le cas où une réflexion est menée pour mettre en adéquation la fonction attendue des éléments en bois (correspondant à une classe d'emploi) et le choix de leur essence (correspondant à une classe de durabilité)[41].

En parcourant les données fournies par la norme européenne EN 460, nous pouvons observer que toutes les espèces ligneuses définies comme très durables par rapport à l'attaque de champignons (classe de durabilité 1) peuvent être utilisées sans traitement de préservation. Alors que les espèces peu ou non durables (classe de durabilité 4 et 5) ne peuvent être employées sans préservation que dans des cas ou le risque de pourriture est nul (classe de risque 1 voire 2). Dans les classes de risques intermédiaires (2,3), il est nécessaire de considérer d'autres aspects comme la capacité (ou l'inertie) de l'espèce à « reprendre » l'humidité. Notons que dans le cas spécifique des rénovations ici considérées, les bois utilisés sont principalement repris dans les classes d'emploi 1, 2 et 3, ce qui correspond à une utilisation intérieure (1), en charpente (2), comme menuiseries extérieures ou en charpentes et bois exposés aux intempéries ou à la condensation (3). Pour ces applications, les exigences relatives aux classes de durabilité sont « raisonnables ». Plusieurs essences sont considérées comme suffisamment résistantes pour ne pas subir de traitement: le douglas, le mélèze, le pin, le chêne, le châtaignier, le robinier, l'orme (uniquement classe d'emploi 1 et 2) ou le noyer (uniquement classe d'emploi 1). Évidemment, le coût de ces essences constitue souvent un frein à leur utilisation: on leur préférera un résineux moins résistant et donc traité, mais aussi moins coûteux.

Un autre produit dérivé du bois et relativement « nouveau » par rapport aux matières de l'existant concerne le panneau sous ses diverses formes (OSB, MDF, multiplex). Ces panneaux se composent pour certains de chutes de bois (déchets de production provenant de scieries) ou d'éléments bois de différents types (copeaux, particules, fibres, plis de bois) qui sont assemblés sous forme de panneau grâce à l'utilisation d'un liant (résine synthétique) ou de colle. L'utilisation de ce liant est également précisément à la base de la question de leur recyclage. Actuellement, les déchets de ce type sont presque essentiellement envoyés vers l'incinérateur. Leur réemploi ne possède pas de filières établies (à l'exception de certains multiplex) et leur recyclage est peu pratiqué (seulement 20% selon l'OVAM) [OVAM,2011$_A$]. Ces matériaux, dont

41 - La norme européenne EN 460 indique la nécessité de traitement de préservation ou non des éléments en bois dans le but de leur conférer une durabilité suffisante et ce, en fonction de la classe de durabilité des essences de bois et en fonction de la classe d'emploi à laquelle elles seront exposées. La norme ne tient compte que du risque d'attaque par les champignons, le risque d'attaque par des insectes étant relativement facile à déterminer (sensibilité ou non). Source: Le bois dans la construction, formation continue pour les professionnels organisée par l'UCL (sous forme de certificat d'université), 9ème édition, 2014. Intervenant Benoit Jourez (SPW).

l'utilisation est actuellement plus que répandue, représentent donc une des fractions dont il faudra tenir compte si nous voulons éviter d'acheminer toutes quantités ultérieurement générées lors des futures interventions vers les unités de valorisation énergétique (en avant-dernière position sur l'échelle d'action).

Les métaux

Nous avons déjà discuté de cette fraction dans le chapitre sur les fractions clés de l'existant (*déchets ou ressources d'aujourd'hui*). Le recyclage des métaux est aujourd'hui bien établi et fonctionnel. Malgré une efficacité des processus actuels de recyclage, des progrès continuent à être réalisés notamment dans les secteurs de l'automobile et de l'équipement (DEEE). En effet, pour prendre un exemple, depuis quelques années le groupe *COMET Traitements* associé à des partenaires scientifiques wallons (dont GeMMe-Ulg) étudie différentes pistes de valorisation maximale des résidus de broyage des déchets métalliques. Ces résidus comportent une multitude de matières différentes (ferreux, non-ferreux, matières plastiques ou minérales, oxyde de fer) dont la granulométrie peut être de l'ordre du micron. Pour permettre une valorisation optimale de l'ensemble de ces matières mélangées de manière indistincte à l'oeil nu, le groupe avec l'Ulg a développé un procédé, aussi appelé *biolixiviation*, qui se base sur l'activité de bactéries adaptées à l'environnement industriel et modifiées pour faciliter le tri de certains métaux[42]. Cette technique à basse température et faible consommation d'énergie a démontré des performances estimées à 97% durant la phase pilote menée par l'Ulg[43]. De manière plus globale, le projet s'inscrit entièrement dans le concept de l'*urban mining*.

Les isolants

Les isolants représentent une fraction particulièrement importante puisque la proportion de ce type de matériaux dans le bâtiment a augmenté considérablement depuis ces dernières années (réglementation PEB, bâtiment passif, BATEX...). Il s'agit donc d'une fraction qui sera potentiellement génératrice de « déchets » et dont il faudra tenir compte lors des futures interventions conduites sur le bâti.

Or, que pouvons-nous avancer concernant ces matériaux en matière de possible valorisation? Premièrement, les isolants sont d'abord choisis pour leurs performances thermiques, et ensuite pour leur prix et/ou impacts environnementaux. Dans un objectif de réemploi, il semble difficile de pouvoir garantir cette performance dans le temps: un isolant possède-t-il toujours les mêmes propriétés isolantes après 20 ans et une fois démis en oeuvre? Qui plus est, la forme et les caractéristiques de ces

42 - Ce projet appelé Biolix a été en partie subsidié par la région wallonne en ce qui concerne l'étude de faisabilité (Pôle MecaTech du Plan Marshall)..

43 - Informations issues de la revue Athena, n° 286 datant de décembre 2012, p.10-11 et récoltées sur le site de COMEt Traitements (www.cometgroup.be).

matériaux les rendent dans certains cas peu voire non adaptés au réemploi. Dès lors, la solution de valorisation à envisager devrait être le recyclage. Or, le recyclage des matériaux d'isolation provenant de chantier de rénovation ou de démolition est pour ainsi dire inexistant. Lors d'une construction, de faibles quantités de déchets provenant des chutes de mise en oeuvre sont produites, mais les déchets sont rarement triés sélectivement même si certains fabricants proposent des sacs de tri à cet effet[44]. De nombreux fabricants vendent pourtant leurs produits comme « entièrement recyclables ».

En effet, il existe bel et bien un recyclage des ces matières isolantes, mais il se limite généralement au site de production (chutes ou défauts de production). Les « déchets » sont alors réintroduits dans le processus de fabrication, soit en début de chaîne (retraitement) soit en fin de chaîne selon leur nature et défauts. Il est certain que les isolants n'offrent à l'heure actuelle qu'une quantité de déchets limitée lors de travaux de rénovation ou de démolition, d'où peut-être une plus faible attention portée à la question de leur recyclage. Un autre élément pouvant être considéré comme un frein concerne leur faible masse volumique: leur poids faible pour des volumes importants constitue en quelque sorte une perte de rentabilité en chargement pour le transport routier, c'est comme si les véhicules roulaient « à vide » (même si cela entraîne une baisse de consommation en essence). Une solution à ce problème pourrait être de compacter les déchets d'isolants avant leur transport comme c'est déjà le cas pour les matériaux neufs (exemple de la cellulose qui est vendue « compactée » dans des sacs avant d'être insufflée). Cependant cette opération nécessiterait qu'un dispositif de compactage soit installé sur le chantier où le manque de place constitue déjà un obstacle en soi. Néanmoins, l'obstacle actuel principal (outre les quantités, le transport et système de collecte) concerne l'inadéquation entre la maturité des technologies de recyclage et les caractéristiques des fractions récupérées sur chantier. De nouveau, la « pureté » des fractions de déchets récoltées sur les chantiers de rénovation est incompatible avec les techniques de recyclage n'admettant presque aucune impureté. De plus, il est quasiment impossible pour les fabricants de garantir que les déchets proviennent bien de leurs produits initiaux: les « recettes » de fabrication sont différentes d'un fabricant à l'autre et la composition des matériaux isolants évolue dans le temps. Ce paramètre complexifie d'autant plus le processus de recyclage, sans compter qu'un risque majeur de l'introduction de ces « déchets » dans la fabrication de nouveaux isolants est la diminution de ses performances thermiques, pourtant à la base de son argument de vente.

Dès lors, que faire? Attendre que les technologies de recyclage évoluent, appliquer une « signature » sur le produit afin de le reconnaître (difficile dans le cas de la cellulose!), penser à de nouvelles applications sans pour autant tendre de manière trop

44 - Ces sacs proposés par le fabricant sont en général payants et doivent être déposés par l'entrepreneur soit sur le site de fabrication soit par le biais de revendeurs reconnus (en général là où se fournit l'entreprise de construction).

importante vers du *down-cycling*, repenser nos modes constructifs et nos pratiques pour faciliter le tri à la source et la séparabilité des matières, encourager un choix conscient de matériaux sans pour autant viser l'unique objectif de performance énergétique... Il paraît certain qu'un jour ou l'autre cette question de la valorisation des déchets d'isolants apparaîtra, étant donné le cadre réglementaire de plus en plus contraignant à ce sujet et lorsque leur masse critique le justifiera. Toutefois, mieux vaut anticiper que d'agir dans l'urgence: préparer le terrain est la meilleure opportunité à envisager puisque nous savons que nous aurons à traiter ces matières. Les départements de recherche et développement jouent ici un rôle primordial ainsi que le législateur. Et concernant les concepteurs, une action peut également être menée pour faciliter ce recyclage futur. Par exemple, la forme « en vrac » semble ici la plus favorable face à la facilité de « démontage » en limitant la contamination par d'autres matières[45]. Le choix peut se porter sur des mises en oeuvre facilitant la séparation entre couches. Le choix du matériau est également important. Introduire simplement ce type de réflexion au niveau de la conception constituerait déjà un pas énorme en matière de sensibilisation du secteur. Même si cela ne peut se faire sans l'accord du maître d'ouvrage, l'architecte joue un rôle certain dans le fait d'attirer l'attention sur ces questions plutôt prospectives.

Les liants minéraux et dérivés

Les liants minéraux peuvent se présenter sous diverses formes: enduits, mortiers, blocs ou encore plaques. Pour l'ensemble de ces cas de figure, la valorisation par le réemploi est quasiment impossible. Quant à leur recyclage, il n'est pas toujours évident. Dans le cas des murs maçonnés par exemple, les mortiers utilisés à l'heure actuelle annihile en général toute possibilité de démontage ou de séparation. Ils sont donc mélangés à la fraction des blocs qu'ils solidarisent et suivent les filières de recyclage des inertes qui acceptent un certain pourcentage de ce type de matières dans leur procédé. Concernant les enduits, le problème de séparabilité est identique: ils sont en général démolis en même temps que leur support qui peut être de nature complètement différente (isolant, blocs, briques), le recalage de ces deux matières est alors compromis (mélange). De plus, certains enduits (particulièrement pour les applications à l'extérieur) sont armés à l'aide de treillis, tissus, voiles réduisant d'autant plus les possibilités de recyclage. Par rapport aux blocs, ces derniers sont souvent mis en oeuvre à l'aide de mortier colle éliminant toute opportunité de désassemblage, un réemploi est donc à proscrire. Par contre, leur recyclage est théoriquement envisageable dans la mesure où la proportion de mortier colle est infime et dans la mesure où la démolition n'occasionne par trop de mélange avec d'autres matières. Enfin, pour les plaques, les deux formes les plus connues sont les plaques

45 - La machine utilisée pour l'insufflation de cellulose par exemple peut tout à fait être utilisée 'en sens inverse' pour désinsuffler les caissons. Le problème résidera plutôt dans le volume (important) à stocker de ce matériau isolant désinsufflé puisqu'il n'est plus compacté comme à l'origine de sa mise en oeuvre.

de carton-plâtre et les plaques de fibroplâtre. Elles sont en général vissées à une structure secondaire (en métal stud -acier galvanisé- ou en bois) ce qui permet une certaine démontabilité des plaques. Malgré cette possibilité de désassemblage, les plaques semblent inadaptées au réemploi étant donné leur faible résistance au démontage (elles sont relativement « fragiles » ou cassantes). Les plaques à base de plâtre constituent, avec le plafonnage, le mode de finition intérieur le plus courant (murs et plafonds). Environ 1.600 millions de m^2 de plaques de plâtre sont installés chaque année en Europe.

Théoriquement, le gypse présent dans les produits précités est recyclable à 100% et à l'infini. Néanmoins, seul un faible pourcentage de leurs déchets est recyclé à ce jour en Europe. L'obstacle principal réside dans le fait que ces déchets sont souvent mélangés aux autres sur les chantiers de rénovation et de démolition, et ils le sont d'autant plus que les pratiques visant une démolition sont souvent plus courantes que le démontage. En Belgique, il y a quelques années encore, les déchets de plâtre finissaient systématiquement à la décharge (principalement situées en Allemagne). Depuis 2009, une entreprise de recyclage de ces matériaux (New West Gypsum Recycling) s'est implantée dans la région d'Anvers, juste à côté de l'usine de fabrication Gyproc. Depuis, il est possible de valoriser ces déchets de plâtre au niveau national. Malgré une taxation de mise en décharge dissuasive, ce type de déchet provenant des chantiers de rénovation ou de démolition est encore trop souvent éliminé plutôt que valorisé. La raison a été évoquée précédemment: le niveau relativement faible d'impuretés acceptées est aujourd'hui peu compatible avec certains modes d'assemblage et pratiques de tri sur chantier. Un travail dans les deux sens doit donc s'opérer pour rendre le recyclage des matériaux à base de plâtre effectif et optimal. Notons que des recherches sont menées en ce sens, notamment dans le cadre du projet IRCOW[46], qui vise d'une part le développement de système de tri poussé (appelé NIR-Advanced sorting Technologies) en préparation au recyclage et, d'autre part, qui vise l'augmentation de la part de matières recyclées[47] dans la fabrication de nouveaux matériaux (plaques principalement). Étant donné l'impossibilité de valorisation par le réemploi, le compostage ou l'incinération (ou alors dans une très faible proportion pour le carton-plâtre), il semble effectivement indispensable d'agir dans le sens d'une optimisation des processus de recyclage, surtout en considérant le caractère hautement recyclable de cette matière.

Les matières plastiques

Les matières plastiques principalement concernées par cette étude sont les membra-

46 - Informations sur les projets disponibles sur www.ircow.eu

47 - La substitution a été proposée jusqu'à un taux de 100%. De manière générale, les tests de cette étude montrent néanmoins une décroissance des performances avec l'accroissement du taux de substitution: diminution de la fluidité, de la résistance à la flexion et à la compression, module de Young, dureté superficielle et augmentation du temps de prise.

nes d'étanchéité de toiture (EPDM) et l'ensemble des films pare-vapeur ou frein-vapeur (intello). Ces films et membranes semblent très peu adaptés au réemploi et leur recyclage n'est, pour la plupart, pas effectif. Dans le cas de l'EPDM, un recyclage peut être réalisé sur base des chutes de production et de mises en oeuvre principalement. L'application de ce type de déchets recyclés peut être multiple: sols amortissants pour aires de jeu, sols sportifs, panneaux antibruit, adjuvants pour le béton, dalles, sols coulés... Mais les déchets de caoutchouc utilisés à ces fins ne proviennent souvent pas du secteur de la construction. Dans le cas des freins-vapeurs (gamme de freins-vapeurs autorégulants et hygrovariables type *Intello*), les films se composent généralement de plusieurs couches de polyoléfines (PP, PE…) nous permettant d'avancer que le processus de recyclage de ces matières est théoriquement envisageable, bien qu'un retour d'expérience n'existe pas encore pour pouvoir confirmer cette hypothèse. L'armature parfois appliquée dans ces films étant de la même nature que les couches composantes, elle ne devrait pas poser de problème pour le processus de recyclage[48]. Par contre, l'ensemble des dispositifs utilisés pour assurer la bonne continuité du frein-vapeur et une bonne étanchéité (bande adhésive, agrafes, colles, bandes adhésives/treillis), rend presque impossible leur « désolidarisation »: les membranes sont arrachées les unes des autres en même temps que les « impuretés » liées aux dispositifs d'assemblage. De nouveau, la possibilité (même théorique) de recyclage est entravée par le type d'assemblage et de mise en oeuvre. Dans le cas précis des freins-vapeurs, le choix d'un mode d'assemblage alternatif apparaît difficile puisque l'enjeu est justement une perfection dans la continuité et l'étanchéité des connexions entre jonctions. Dès lors, pour viser une optimisation de leur valorisation et éviter que ces membranes se retrouvent en grande quantité dans nos décharges ou dans l'incinérateur, les procédés de recyclage devraient pouvoir faire face à ces impuretés inhérentes à leur mise en oeuvre et la composition des modes d'assemblages devrait au minimum se rapprocher de la nature des membranes.

En guise de conclusion, nous pouvons avancer que par rapport aux fractions clés de l'existant identifiées précédemment, les opportunités de recyclage des fractions projetées sont bien plus restreintes (il en va de même pour les opportunités de réemploi). Les procédés sont bien souvent soit en développement, soit inadaptés aux spécificités de la nature des déchets produits sur chantier (la contamination avec d'autres matières est souvent difficilement évitable). Il y a là un double travail à réaliser dans l'optique d'une meilleure valorisation. D'une part, continuer à encourager la recherche et les avancées technologiques en matière de recyclage et, d'autre part, encourager la mise en place de nouvelles pratiques de tri et de mise en oeuvre sur chantier. Cette seconde proposition dépend en outre de choix conceptuels initiaux

48 - L'armature présente néanmoins un obstacle au recyclage de membrane freine-vapeur à base de papier 'cartonné' (*DB+*). En effet, l'insertion d'une armature en fibre de verre innihile les possibilités de recyclage du papier.

situés en amont de la mise en oeuvre, mais également d'une attention particulière portée à la gestion des déchets et à l'identification préalable de leur potentiel. Cette démarche nécessite une adaptation globale du secteur qui présente généralement une forte inertie au changement.

Opportunités d'optimisation dans le cas d'une composante projetée

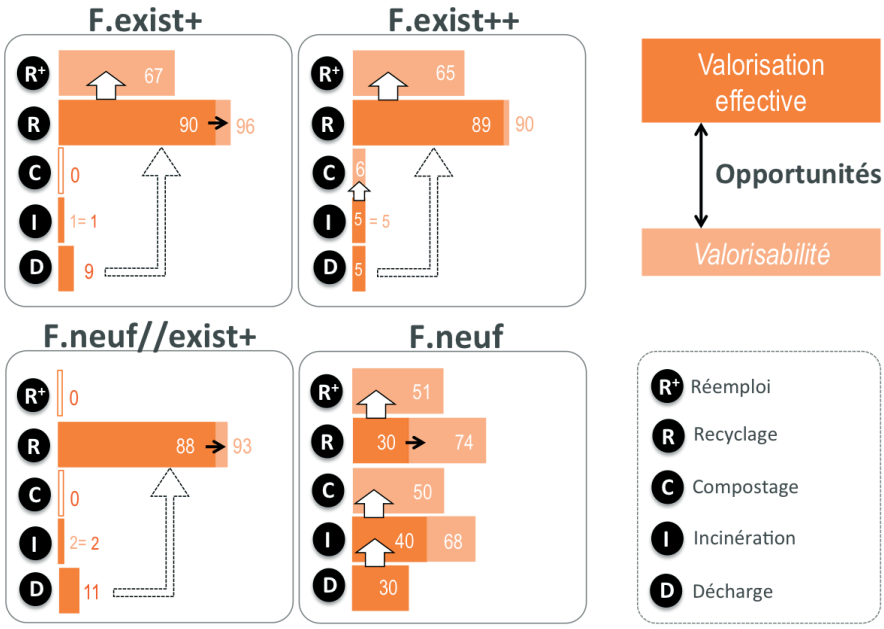
Comme dans le cas des fractions clés de l'existant précédemment analysées, nous proposons ici de comparer les résultats de potentiels obtenus dans l'évaluation qualitative (*valorisabilité*) avec la valorisation effective que subiraient ces diverses parois actuellement. Nous avons ici considéré les parois types projetées, c'est-à-dire constituant le nouveau stock bâti après opération de rénovation énergétique. De nouveau, nous nous sommes basés sur les données d'une étude de l'OVAM pour calculer la valorisation effective des différentes fractions [OVAM,2011_A] et nous avons considéré l'unité de poids pour permettre la « comparaison » avec la *valorisabilité*[49].

Nous avons décidé pour cette section de concentrer notre analyse sur les différentes possibilités d'amélioration de la composante façade, en partie parce qu'une solution alternative d'amélioration est proposée (*F.exist++*) pour cette composante. Les résultats (graphiques comparatifs entre *valorisabilité* et valorisation effective) des autres composantes sont néanmoins repris en annexe[50].

Comme le montre la figure ci-après, les parois de façade projetées montrent un recyclage effectif particulièrement intéressant, sauf dans le cas de *F.neuf*. Cela s'explique par la proportion importante (en poids) de matériaux inertes dans les trois premières parois types (*exist+*, *exist++* et *neuf//exist+*) qui, comme nous l'avons vu, possèdent une filière de recyclage bien installée. Pour ces mêmes parois, le taux de mise en décharge est relativement faible et la valorisation énergétique l'est encore plus: l'incinération n'étant pas applicable aux inertes, elle concerne surtout les isolants très faiblement représentés en poids. Nous discuterons du cas de *F.neuf* un peu plus loin puisque cette paroi présente des résultats très différents des autres de par le système constructif utilisé.

49 - Nous rappelons que la somme des différentes valorisations effectives équivaut à 100% alors que l'évaluation de la valorisabilité représente les potentiels maximum de la paroi par type de valorisation envisagée, leur somme peut donc aller au-delà des 100% (ou en-dessous).
50 - Notons que dans certains cas, il arrive que le potentiel de valorisation (*valorisabilité*) s'avère être inférieur à la valorisation effective. Ce phénomène s'explique en partie par la méthode de comptabilisation proposée (et le fait que le mode constructif choisi influence en partie le bilan). Les réponses à donner pour la valorisation effective sont en effet moins 'nuancées'. Si nous prenons l'exemple du potentiel d'incinération, les matériaux ont été classés en trois catégories en fonction de leur pouvoir calorifique supérieur (important, moyen, nul) alors que l'incinération effective se base uniquement sur le fait qu'un matériau soit incinérable ou non. Des différences de résultats montrant un potentiel inférieur à la valorisation effective peuvent dès lors survenir (ce qui pourrait paraître contradictoire).

Figure 4.27: Comparaison *valorisabilité* et valorisation effective des parois types projetées de la composante façade



Concernant ***F.exist+***, même si le recyclage effectif est important, nous pouvons voir qu'il existe un réel potentiel de réemploi. Une optimisation de la valorisation de cette paroi est donc tout à fait envisageable, d'autant que des filières de réemploi pour ce type de matériaux sont déjà bien implantées. Ce potentiel de réemploi s'explique par la conservation des briques pleines existantes et par le mortier à base de chaux utilisé pour leur mise en oeuvre. Le réemploi de ces matières se justifie d'autant plus que les granulats recyclés de terre cuite sont des produits qualifiés de moindre « qualité » (moins résistants) que les granulats de béton ou encore que les granulats mixtes. Leur application sous forme d'*up-cycling* est donc plus réduite voir inapplicable à l'heure actuelle. Le taux de mise en décharge correspond principalement à la couche de plafonnage intérieur (100%) et à une faible proportion de déchets inertes (5%). Pour éliminer la mise en décharge, et vu les résultats élevés de recyclage des inertes, il est envisageable de miser sur la réduction drastique, voire totale, de la petite part des terres cuites envoyée vers les décharges. L'autre moitié des déchets dirigés vers les CET (Centres d'enfouissement Technique) concerne le plafonnage. Or, l'optimisation de la valorisation de ce type de déchet est à l'heure actuelle difficilement envisageable: impossible pour du réemploi, peut-être possible pour du recyclage. En effet, il existe bien une filière de recyclage de ces déchets en Belgique (New West Gypsum Recycling à Kallo) et le gypse contenu dans les plaques, blocs, etc. est

théoriquement recyclable à 100%. Mais les déchets acceptés doivent présenter à l'heure actuelle un taux minimum d'impuretés. Dans le cas du plafonnage qui est en soi « collé » à la paroi, la pureté de la fraction obtenue ne peut être garantie, d'autant plus si la paroi est démolie! Il faudrait au mieux « racler » la couche de plafonnage et la récolter préalablement à toute autre intervention.

Par rapport à ***F.neuf//exist+***, qui présente la même composition de paroi que la précédente, mais en version entièrement reconstruite, nous pouvons observer des résultats de valorisation effective relativement similaires: une forte proportion de recyclage, 11% de mise en décharge et à peine quelques pourcents pour la valorisation liée à l'incinération de l'isolant. Cependant, au contraire de *F.exist+*, le potentiel de réemploi est ici nul. Il n'existe donc à priori aucune possibilité d'optimisation de valorisation de la paroi vers le réemploi. La seule opportunité de valorisation concerne dès lors l'optimisation des processus de recyclage avec les inconnues persistantes relatives aux possibilités d'up-cycling concernant les granulats recyclés de terre cuite et du taux d'acceptation d'impuretés concernant les déchets de plafonnage.

F.neuf est la paroi neuve proposant un autre système constructif que celui de la paroi initiale puisqu'elle se compose d'une structure de bois porteuse insufflée de cellulose. Les résultats de *valorisabilité* et de valorisation effective sont ici bien différents et plus variés que pour les résultats des autres parois. Ainsi, en matière de valorisation effective, cette paroi apparaît nettement moins intéressante que les autres puisque seulement 30% seraient recyclés, 40% incinérés et 30% rejoindraient la décharge. Nous pouvons avancer que dans ce cas de paroi, l'optimisation de la valorisation apparaît plus que nécessaire. Au contraire des autres parois présentant seulement un à deux potentiels de valorisation (réemploi, recyclage), *F.neuf* a l'avantage de proposer un potentiel pour chacun des degrés de valorisation, ce qui pourrait constituer un atout (puisque plusieurs choix de valorisation sont disponibles). Ainsi, concernant l'optimisation vers le réemploi, les éléments en bois plein massif (31%) utilisés pour la structure et le lattage semblent tout à fait adaptés, d'autant que des filières de réemploi existent déjà pour ce type de matériau. La question de la possibilité de réemploi des panneaux de bois (OSB) et de la cellulose reste quelque peu en suspens, car aucun retour d'expérience concret n'existe encore à ce jour. L'optimisation vers le recyclage est également envisageable puisque le potentiel est estimé à 74% en considérant les bois comme non traités. Notons que le recyclage des isolants, bien qu'existant sur les sites de production voire pour les chutes de mise en oeuvre, n'est à l'heure actuelle pas encore développé en ce qui concerne les déchets de rénovation et de démolition. Le recyclage des panneaux de bois aussi pose question. L'évolution vers des processus de recyclage adaptés à ce type de déchets est possible, mais reste hypothétique à ce stade. Enfin, si des opportunités de réemploi et de recyclage ne peuvent être complètement atteintes, il reste les opportunités de valorisation organique et énergétique. Une grande partie de la paroi est en effet composée de bois ou de produits dérivés (même la cellulose est une sorte de produit

dérivé puisqu'elle est fabriquée à partir de papier recyclé lui-même issu du bois) rendant théoriquement possible la décomposition organique et l'incinération de ces produits. Pour ce qui est de réduire la proportion de déchets mis en décharge, les matières principalement concernées par cette élimination concernent les plaques de carton-plâtre, l'enduit sur isolant, et une faible proportion de déchets de bois. Concernant les plaques de plâtre, elles ne sont ni incinérables ni compostables, mais peuvent par contre faire l'objet d'un recyclage effectif (même si les résultats ne le démontrent pas[51]). Le mode de fixation utilisé permet effectivement un démontage aisé qui constitue une opportunité pour obtenir des fractions relativement « pures ». L'enduit sur isolant est plus problématique puisqu'il est habituellement armé et fixé de manière irréversible à la couche d'isolant. La faible proportion de bois mis en décharge, pour autant qu'il ne soit pas considéré comme dangereux, pourrait être redirigée au minimum vers une valorisation énergétique ou organique.

Enfin, pour ce qui est de la paroi alternative ***F.exist++***, les résultats ne démontent pas forcément une forte variation de résultats par rapport à son homologue *F.exist+*. À savoir que le potentiel de recyclage et le recyclage effectif sont importants et correspondent dans leur résultat. L'incinération effective est supérieure de quelques pourcents à l'incinération effective de *F.exist+* et équivaut au résultat de potentiel évalué. Et enfin, le taux de mise en décharge est le plus faible comparativement aux autres solutions de parois. Le résultat de 5% obtenu pour l'élimination concerne une faible part de déchets inertes et de déchets de bois ainsi qu'une quantité infime de membranes freine-vapeur. Nous avons déjà mentionné le fait qu'une optimisation par la suppression de la mise en décharge est certainement possible pour la part des inertes. Effectivement, la valorisation par le recyclage et le réemploi des briques pleines existantes offre des solutions concrètes et fonctionnelles à l'heure actuelle. Quant à la suppression de la mise en décharge pour les déchets de bois, de multiples opportunités existent également: le réemploi pour les éléments pleins en bon état, le recyclage et éventuellement le compostage pour les bois non traités et en dernier recours l'incinération. La part qui est envoyée vers les CET correspond éventuellement à des bois dangereux ou à des défauts de tri (trop de mélanges), bien qu'actuellement cette cause apparaît limitée puisque seuls les déchets dits « ultimes » sont acceptés en décharge.

Pourquoi avoir proposé une solution de paroi alternative (autre que celles communément rencontrées dans les projets)? Outre vérifier et comparer la valorisabilité de cette paroi par rapport aux autres il s'agissait également de déterminer l'impact environnemental de cette dernière (voir chapitres précédents). En soi, cette solution diffère peu de la solution *F.exist+* parce que la part de paroi conservée correspondant aux briques (et similaire entre les deux solutions) est présente dans une proportion

51 - L'entreprise de recyclage implantée à Kallo n'est active que depuis quelques années (2009), les chiffres fournis par l'OVAM et utilisés dans le cadre de la détermination de la valorisation effective peuvent donc s'avérer quelque peu "dépassés".

importante justifiant des résultats relativement semblables. Au regard des similitudes de résultats, que nous apporte la solution alternative? Comparativement à *F.exist+*, les opportunités de valorisation vers le réemploi ne concernent plus uniquement les briques pleines existantes, elles peuvent également s'appliquer aux bois de structure ou de bardage du layer extérieur, à la couche de finition intérieure en argile et éventuellement à la cellulose (cette solution est purement hypothétique). Le champ des possibilités est donc élargi. De plus, en proposant cette paroi alternative nous avons souhaité substituer à certaines matières et mises en oeuvre problématiques des matériaux plus facilement démontables, séparables et réutilisables. Ainsi, le procédé de crépi sur isolant (ETICS) indissociable et peu valorisable (seule l'incinération est envisageable pour l'isolant en EPS) utilisé dans F.exist+ est remplacé par une solution de contrestructure en bois (caissons) isolée dont l'ensemble des matériaux la constituant est réemployable, recyclable, compostable ou même incinérable. Les potentiels de valorisation de la paroi *F.exist++* sont de ce fait accrus.

En outre, le plafonnage proposé dans *F.exist+* présente des limites quant à son recyclage effectif. Nous l'avons donc remplacé par un enduit à l'argile. Bien que son utilisation soit marginale face au plafonnage à base de plâtre, ce matériau « ancien » propose de nombreux avantages: il s'agit d'une ressource locale disponible en grande quantité, aucun processus de transformation n'est nécessaire à sa fabrication, il est réparable, réemployable et recyclable à l'infini, il permet une meilleure régulation hygrothermique du climat intérieur, il peut être pigmenté dans la masse (évitant l'application supplémentaire de couches de peinture). Nous nous étonnons dès lors que les concepteurs et maîtres d'ouvrage n'aient pas plus recours à ce matériau « magique ». Certains professionnels du plafonnage que nous avons pu rencontrer se sont même étonnés face à l'utilisation de terre comme finition intérieure. Bien qu'initialement sceptiques et réticents à la mise en oeuvre d'un tel matériau (problème lié à la qualité de mise en oeuvre qu'ils ne pouvaient garantir vu leur méconnaissance et inexpérience en la matière), ils se sont avérés tout à fait compétents dans l'application de ce produit en proposant un résultat final de qualité. Notons toutefois que l'argile (et la terre crue en général) représente un matériau particulièrement utilisé dans l'autoconstruction et l'habitat léger par exemple. Peut-être ce matériau pourrait-il concurrencer le plafonnage (moins valorisable, mais plus largement appliqué), si des demandes similaires se multipliaient, et si les ouvriers opérant dans les courants « classiques » du secteur de la construction prenaient la peine de se risquer dans la mise en oeuvre de nouveaux matériaux de ce type. De façon plus globale, nous sommes convaincus que la terre crue, de par les nombreux avantages préalablement cités, représente un matériau d'avenir dans une optique d'élimination de la notion de déchet et de relocalisation de nos ressources matérielles. Même si ce matériau offre peu de débouchés dans la rénovation de bâtiment en RBC, la paille se situe également sur ce schéma. Tous deux représentent des matériaux locaux dont la mise en oeuvre est ancestrale et dont les ouvrages ont fait leurs preuves. Mais il faut pouvoir les réadapter pour que ces matériaux puissent répondre aux besoins

de notre société actuelle dans un contexte où les avancées technologiques et les matériaux innovants ont plus la cote que les matériaux simples et naturels, sans compter la nécessité environnementale d'enclencher une mutation d'un secteur de la construction présentant une forte inertie au changement.

En guise de conclusion, nous pouvons dire que le bilan le moins intéressant au niveau de la valorisation effective[52] que constitue *F.neuf* présente néanmoins de multiples potentiels de valorisation (certes encore de l'ordre de la théorie pour certains) alors qu'une paroi comme *F.neuf//exist+*, serait à l'heure actuelle recyclée dans une large proportion, mais n'offre malheureusement pas vraiment d'opportunités quant à une optimisation de valorisation (pas de réemploi possible, éventuellement une amélioration du recyclage). Les deux meilleures parois combinant une valorisation effective intéressante et des opportunités réelles d'optimisation (c'est-à-dire vers un degré de valorisation plus élevé) correspondent aux solutions de parois conservées et améliorées. En outre, l'alternative *F.exist++* bien qu'ayant des résultats globalement similaires à *F.exist+*, présente toutefois de plus larges opportunités concernant l'ensemble de ses matériaux constituants. En effet, contrairement à *F.exist+*, chacune des matières contenues dans *F.exist++* (sauf l'étanchéité à l'air) est valorisable de plusieurs manières en ce compris la valorisation par le réemploi (en tête de la hiérarchie d'action) et, les matières premières utilisées sont principalement naturelles et d'origine locale. Même si le bilan environnemental de *F.exist++* possède des résultats légèrement supérieurs à *F.exist+* concernant les indicateurs *quantité de matière* et *énergie grise*, l'impact de l'indicateur de *gaz à effet de serre* est cependant le plus intéressant, et nous sommes convaincus qu'à de nombreux égards (considérant le croisement entre le bilan de *valorisabilité*, la valorisation effective et le bilan environnemental) cette solution constitue la solution d'amélioration la plus intéressante.

4.6.3. Freins et contraintes

Nous avons précédemment énuméré les possibles opportunités de valorisation propres aux différentes fractions clés identifiées. Toutefois, l'optimisation de la valorisation (suivant la hiérarchie d'action), quand elle est possible, n'est pas forcément mise en pratique. La mise en place de filières de valorisation peut même s'avérer être un exercice particulièrement difficile. Sous l'effet des enjeux environnementaux dont la conscientisation s'est réellement opérée depuis les années « 70 avec le choc pétrolier, la pratique de mise en décharge qui était jusqu'alors la finalité communément admise pour tous les déchets a peu à peu fait place à des filières de valorisation (incinération, recyclage). Pour permettre une valorisation effective, un tri en amont doit être réalisé. C'est ainsi que nous avons assisté ces 20 à 30 dernières années à une évolution considérable dans nos pratiques de tri sélectif concernant les déchets ménagers. Les habitations bruxelloises, principalement des appartements,

52 - Considérant le contexte et les filières actuelles qui risquent bien d'évoluer dans le temps.

sont par ailleurs bien peu adaptées face à l'espace que requiert ce tri sélectif: sacs bleus (PMC), sacs jaunes (papier/carton), déchets verts et/ou organiques, verres et vidanges... prennent de plus en plus de place dans les logements en fonction de la fréquence des collectes sélectives. Bien qu'une évolution considérable des pratiques de tri se soit opérée, le changement a nécessité du temps, une réelle volonté politique (conscientisation, information, réglementation, obligation...) ainsi qu'une participation collective des citoyens.

Si nous devions comparer les habitudes de tri domestiques actuelles au tri réalisé sur chantier, les déchets domestiques gagneraient certainement la partie face aux déchets de C&D. En effet, même si nous pouvons également observer une évolution dans le secteur de la construction, les pratiques de tri restent malgré tout minimales puisqu'elles concernent essentiellement les métaux, les inertes et parfois le bois. Même s'il s'agit d'une pratique très « ancienne »[53], le recyclage « officiel » des inertes (c'est-à-dire sous forme d'entreprises spécialisées dans cette activité) s'est développé début des années '90 en Belgique. En 25 ans, l'activité s'est développée et est aujourd'hui bien implantée, elle est même devenue incontournable (obligation de recyclage de la fraction pierreuse en RBC). Mais la mise sur le marché des granulats recyclés n'était pas gagnée d'avance, elle s'est opérée au prix de nombreux efforts et démarches: recherches et tests en laboratoire, groupes de travail, nouvelles réglementations, normes, et prescriptions techniques, travail sur les lobbies, etc. L'utilisation de ces granulats recyclés pour de nouvelles applications fait encore l'objet aujourd'hui de plusieurs recherches et adaptations normatives. Devrons-nous attendre 25 ans avant d'imaginer le fonctionnement effectif de nouvelles filières pour les autres fractions? Le mouvement vers une économie plus « circulaire » est certes en route puisqu'il répond aux objectifs annoncés de l'Union Européenne, mais nous sommes convaincus que sans la mise en place d'une volonté politique forte, d'un cadre réglementaire clair, sans un avantage économique certain ou sans nécessité pressante, ce changement tardera à se produire. En tant qu'acteurs de la conception des bâtiments, nous pouvons cependant commencer cette transition progressive du secteur en pensant en termes de ressources et de gisements futurs.
Dans ce chapitre, nous tenterons de soulever les différents obstacles rencontrés dans un objectif de valorisation maximale tel qu'envisagé dans cette recherche. Ces obstacles peuvent être définis comme des freins ou comme des leviers d'action . La difficulté réside dans le fait que les facteurs influençant les possibilités de valorisation sont multiples, parfois complexes, concernent des acteurs différents et surtout, sont souvent interdépendants et connectés. Les contraintes peuvent être d'ordre

53 - Le réemploi et le recyclage des fractions d'inertes (pierres, béton et briques) provenant d'anciennes constructions démolies ou détruites par des guerres ou des catastrophes naturelles constituent des pratiques relativement anciennes puisque les Romains auraient utilisés des granulats recyclés de maçonnerie dans la composition de certains mortiers [GHYOOT, 2014]. Pourtant cette pratique semble parfois 'oubliée' dans notre société de consommation occidentale, encore trop souvent convaincue de la disponibilité en quantités suffisantes des ressources nécessaires à son fonctionnement.

législatif, réglementaire, normatif, économique, technique, conjoncturel, structurel, logistique, pratique, environnemental, sociétal... Nous allons les développer ci-après pour le réemploi et dans une moindre mesure, le recyclage.

1. Le réemploi

Définition et nature du produit

Les matériaux de réemploi doivent faire face à la « dissociation » entre la nature « industrialisée » des produits de construction et la nature « individualisée » du produit de seconde main. En effet, le matériau de construction est assimilé à un produit issu de l'industrie[54]. Il s'agit du modèle de production de référence et ce mode de production influence considérablement les réglementations européennes relatives aux matériaux de construction. Dès lors, certains matériaux ne s'intégrant pas dans un processus de production de type « industriel » ont quelques difficultés à trouver leur place sur le marché, ils sont même fortement désavantagés, car inadaptés au cadre réglementaire instauré. Nous retrouvons entre autres dans les matières non manufacturées, des matériaux comme la terre crue ou la paille (et d'autres encore) et les matériaux de réemploi. Ces derniers ont peut-être été produits de manière industrielle lors de leur fabrication, mais aujourd'hui, ils ne peuvent être considérés équivalents à des produits manufacturés sortant d'usine dont les exigences et contrôles ont augmenté considérablement ces dernières années [GHYOOT, 2014].
Disponibilité, prévisibilité et uniformité

Un des obstacles liés aux matériaux de réemploi concerne l'**imprévisibilité** de sa disponibilité. Dans la majorité des cas, le choix des matériaux n'est pas soumis à une question de **disponibilité**: les matériaux de construction issus de l'industrie sont généralement produits en quantité importante dont les proportions sont également évaluées sur base de la demande du secteur. L'architecte, à part considérer les délais de commande, se pose donc peu de questions sur l'approvisionnement en matériaux de construction. Or, dans le cas des matériaux de réemploi, leur « production » est fluctuante et imprévisible. Cette caractéristique, pouvant être interprétée comme particulièrement « inconfortable » pour le concepteur, pourrait au contraire générer de nouveaux modes de conception: plutôt que d'introduire le choix du matériau après le processus conceptuel, l'identification des ressources matérielles disponibles constituerait la base de la conception et des objectifs du projet. Notons toutefois que certains éléments de construction courants et intemporels tels que la pierre bleue, le pavé, les briques, présentent un renouvellement des stocks plus fréquents que d'autres matériaux de réemploi.

À la question de la quantité et des délais dans lesquels les matériaux seront rendus disponibles, s'ajoute la question de l'**uniformité**. En effet, les matériaux de construc-

54 - Le réglement européen n° 305/2011 donne la définition de produit.

tion sont devenus des produits industrialisés produits à la chaîne sans qu'aucune différenciation ne puisse être faite entre des produits issus de la même production. Tout « défaut » ou différenciation repéré(e) conduit immédiatement le produit défectueux dans la classe des déchets de production: il est défini « impropre » à la vente puisque ne répondant pas aux standards vendus (tous identiques). D'ailleurs, les « petites imperfections » des matériaux de finition sont rarement acceptées par les clients qui s'attendent à avoir une uniformité du produit telle qu'on la leur a vendue en magasin. Or, ce qui différencie les matériaux de réemploi des autres matériaux issus de l'industrie, c'est justement cette unicité qui les caractérise. En effet, des produits peuvent être similaires à la sortie de l'usine, une fois mis en oeuvre, ils entament un processus d'individualisation [GHYOOT, 2014]. En fonction de leur usage, de leur situation et de leur ancienneté, les matériaux acquerront une « patine » particulière qui leur conférera leur caractère singulier, à la base d'un certain facteur d'appréciation (pour certains acteurs du secteur).

Nous souhaitons également rappeler que les matériaux qui sont démontables et théoriquement réemployables ne signifient pas pour autant qu'ils seront réellement utilisés. L'imprévisibilité en approvisionnement combinée à une demande fluctuante rendent l'estimation de la correspondance entre offre et demande extrêmement compliquée.

Description et prescription, Offre et demande

Pour que le concepteur puisse prescrire l'utilisation de matériaux de réemploi, il faut en effet que ces derniers puissent être décrits correctement dans les différents documents (plans, métrés, cahier des charges). Dans le cas de chantier d'autoconstruction ou de petite envergure, le dialogue privilégié et la proximité entre les acteurs permettent la limitation des descriptions au strict minimum. Dans le cas de projets plus importants ou de marchés publics, cette description est nettement plus stricte et doit être formulée dans un langage particulier. Les matériaux neufs sont tout à fait adaptés à ce langage spécifique puisqu'ils proposent des articles de cahier des charges déjà écrits ou des descriptions techniques précises difficilement envisageables dans le cas de matériaux de réemploi. L'utilisation de ce type de matériau dans ce cadre est donc limitée.

Garantie et responsabilité

Dans le cas de toute transaction commerciale, il existe une forme de garantie légale entre le vendeur et le privé. Il s'agit d'une sorte d'exigence de conformité entre ce qui est décrit par le vendeur et ce qui est attendu par l'acheteur. Pour le revendeur de matériau de seconde main, il ne sert donc à rien d'annoncer des performances trop importantes, mais un minimum de description est néanmoins requis dans le but de faciliter la vente des matériaux. Cependant, dès qu'un entrepreneur entre

dans l'équation, ce sont les règles de commercialisation imposant notamment le label CE qui sont alors d'application. Les règles normatives européennes et nationales représentent un frein majeur puisqu'elles sont difficilement applicables dans le cas des matériaux de réemploi. Néanmoins, à défaut de posséder des protocoles de contrôles et de tests certifiés, une forme « ancienne » de garantie pourrait jouer en faveur de ces produits de seconde main. Par forme « ancienne », nous entendons la manière dont nombre de transactions se faisaient avant l'application massive de normes, c'est-à-dire une forme de garantie basée sur la confiance entre acteurs, sur l'expérience, l'expertise et le savoir-faire des revendeurs et des entrepreneurs [GHYOOT, 2014].

Malgré cette éventuelle forme de garantie tacite, le flou juridique entourant la question de la « garantie » dissuade la plupart des acteurs de recourir à ce type de produits, plus particulièrement dans le cas de projets de marchés publics ou de projets de grande envergure. En pratique, les matériaux de réemploi seront plus facilement utilisés par le privé qui ambitionne de faire lui-même une partie de ses travaux. C'est alors lui qui prendra la responsabilité ou le risque de faire « confiance » au matériau de réemploi (ne possédant ni label, ni marquage CE). Le recours aux matériaux de seconde main est également envisageable dans le cas de projets où il existe un dialogue privilégié entre les différents acteurs (architecte, maître d'ouvrage et entrepreneur) et une compréhension des attentes du maître d'ouvrage. Il s'agit souvent de projets de plus petite envergure où le maître d'ouvrage formule clairement une attente dans le sens de ce type de matériaux ou bien, où l'architecte parvient à sensibiliser le maître d'ouvrage à l'utilisation de ces matériaux [GHYOOT, 2014].

La question de la garantie touche également la notion de la **performance**. En effet, une des autres difficultés rencontrées par les matériaux de réemploi concerne ses performances et spécificités techniques. Actuellement, les produits de construction sont vendus accompagnés d'une « fiche technique » spécifiant leurs performances (résistance au feu, résistance à la compression, résistance acoustique, résistance thermique, etc.), caractéristiques, dimensions, labels et le type de mise en oeuvre requis. Il s'agit d'une véritable fiche d'identité qu'il est malheureusement difficile d'obtenir dans le cas des matériaux réemployés. Toutefois, lorsque l'origine du matériau peut être connue (marquage de l'usine de production) et corrélée avec l'année de construction, et, dans le cas où le produit n'aurait subi aucune dégradation, il est envisageable d'avancer qu'il possède encore les propriétés initialement annoncées par le fabricant. Cette démarche demande néanmoins d'opérer certaines investigations historiques pouvant s'avérer parfois laborieuses. Par rapport à la question de la garantie des performances, la fonction projetée du matériau de réemploi devrait être pensée selon les performances et exigences attendues: ces dernières ne sont effectivement pas les mêmes entre un parquet en bois et une poutrelle de structure en acier. Dès lors, pour les éléments construits devant répondre à certaines exigences spécifiques (stabilité, performance thermique/acoustique et résistance au feu prin-

cipalement), il est plus prudent de ne pas avoir recours aux matériaux de réemploi. Sauf dans le cas où ces derniers auraient fait l'objet d'un contrôle préalable spécifique à la performance requise (processus lourd et coûteux). À ce sujet, nous évoquerons plus loin les opportunités offertes pour faciliter le réemploi ou recyclage des matériaux à l'avenir.

Technique et logistique

Ce que nous entendons par freins techniques et logistiques concerne essentiellement les aspects pratique et organisationnel que requiert le matériau de réemploi. En effet, la première condition pour qu'un matériau soit réemployable se réfère à sa capacité et sa résistance à être démonté. Or, ces paramètres dépendent essentiellement de l'architecte (celui qui a conçu le bâtiment et celui qui le rénove) et l'entrepreneur (celui qui a construit le bâtiment et celui qui va le déconstruire). En tant que concepteurs, nous avons peu d'emprise sur le bâti existant puisque les matériaux sont déjà mis en oeuvre. Cependant, dans les cas étudiés dans cette recherche nous avons pu voir que ces matières étaient dans leur ensemble relativement démontables (techniquement parlant). Nous avons par contre un potentiel d'action sur la démontabilité ultérieure des éléments ajoutés lors de la rénovation et, nous avons également un rôle quant à la prescription (grâce notamment au cahier des charges) d'un démontage des éléments existants, du tri et du stockage de ces derniers. Effectivement, le démontage doit s'accompagner d'un tri à la source et d'un stockage adéquat sous peine d'anéantir les efforts initialement consentis à la déconstruction. Cette démarche doit être entamée et communiquée le plus tôt possible dans un projet afin que l'entrepreneur connaisse les termes de sa mission et remette prix en fonction.

Ensuite, à la faisabilité technique de l'opération de démontage viennent s'ajouter d'autre paramètres d'ordre logistique comme les délais, les coûts (dont nous parlerons ci-après), l'espace disponible, le stockage, les types de contenants, les modes et fréquences d'évacuation... En effet, si l'obstacle majeur du démontage concerne le coût de la main-d'oeuvre et les délais liés à l'opération, les freins au tri (et parallèlement au stockage) se réfèrent principalement au manque de place disponible suivi par un manque de formation et d'information des acteurs par rapport aux filières existantes. Les éléments démontés en vue de leur réemploi constituent des « déchets » particuliers puisqu'ils doivent faire l'objet d'une attention particulière par rapport aux autres déchets: ils doivent pouvoir être stockés temporairement dans des conditions garantissant leur conservation avant d'être évacués. C'est dans le cas d'une réutilisation in situ, pourtant celle à privilégier, que le problème peut se poser. En effet, il faudra alors pouvoir aménager des espaces de stockage sur chantier (intérieurs ou extérieurs en fonctions du type de fraction), ce qui est difficilement envisageable dans certains cas! Les matériaux de seconde main peuvent aussi être stockés par l'entrepreneur si ce dernier possède des espaces de stockage adéquats.

Ou encore, s'il est fait appel à une entreprise spécialisée dans le démantèlement et la déconstruction, cette entreprise, grâce à son expertise, sera à même de gérer ces questions de démontage, de tri, d'évacuation et de stockage. Enfin, l'offre proposée par Rotor Deconstruction est également une alternative intéressante: il s'agit d'un service de déconstruction sur site et les acheteurs viennent chercher les matériaux de réemploi quand ces derniers sont démontés et rendus disponibles (seule une quantité minime est récupérée pour être stockée par la société).

Budgets, délais

Dans la majorité (si pas la totalité) des projets de construction et de rénovation, deux facteurs sont en général déterminants: il s'agit du **budget** et des **délais**. À l'heure actuelle, les déchets sont en général considérés comme des productions collatérales du projet, encombrantes, sans valeur et dont l'évacuation et le traitement sont suffisamment onéreux. Dès lors, favoriser leur démontage plutôt que leur démolition et effectuer un tri sélectif à la source apparaissent souvent comme des procédés supplémentaires chronophages et coûteux (sauf dans le cas d'entreprises dont c'est la spécialité). Il est certain que les opérations de démontage demandent des délais plus conséquents que dans le cas d'une démolition et, de ce fait, une main d'oeuvre plus importante. Or actuellement, le prix de la main d'oeuvre tend à dépasser le coût des matériaux[55]. Il est clair que sans bénéfices économiques certains, l'entrepreneur considère le fait de mettre ses hommes sur le démontage d'un mur de futurs « déchets » comme une perte de temps et d'argent. En toute logique, l'opération de démontage et de tri sélectif devrait être « rentabilisée » par la vente des « déchets » produits comme matériaux de réemploi. Losqu'une récupération est envisagée, la réalisation d'une opération neutre, voire avantageuse comparativement au coût d'une opération de démolition, nécessite une bonne planification et une bonne estimation des coûts inhérents à l'opération: estimation de la quantité et qualité des matériaux, identification des filières de reventes, estimation de la quantité de main d'oeuvre et du prix de revente, coûts de l'évacuation... Or, si l'entrepreneur n'a aucune expérience en la matière, cela lui demandera du temps et de l'énergie. Dans quels cas ce type d'approche est-il réalisé? Soit il s'agit d'une démarche volontaire de la part du MO, soit l'architecte convainc le MO de l'avantage de l'opération, soit l'entrepreneur soucieux d'innover pour son entreprise y voit un possible développement et entrée financière (cas plutôt rare). Le plus simple sera souvent de déléguer ce travail à des entreprises spécialisées (démontage et tri). Dans ce cadre, de nombreuses entreprises d'économie sociale en ont fait aujourd'hui leur activité principale: le bâtiment est littéralement « vidé » de ses composants, il n'en reste en général que la structure.

Concernant le tri sélectif, il s'agit plus d'une question d'information et de formation

55 - Malgré l'arrivage, grâce à la libéralisation du marché et l'ouverture des frontières, d'ouvriers offrant des prix particulièrement concurrentiels à cause desquels certaines entreprises locales ont des difficultés à suivre. Mais ceci est un autre débat.

que de coûts ou de temps supplémentaire. En soi, l'acte de « déverser » les déchets dans un contenant reste identique, c'est le choix du contenant adéquat qui fera la différence dans le cas d'un tri sélectif. Néanmoins, les espaces de tri devront être l'objet d'une attention particulière pour rendre le tri effectivement pratique et aisé (accessibilité, espace requis, panneaux d'information spécifiant le type de déchets admis). L'obstacle au tri réside également dans le fait qu'il est parfois difficile pour des personnes non averties de différencier certains types de déchets, d'où la nécessité de former et d'informer. Par rapport à l'amélioration du tri sélectif, une autre piste envisagée serait de rapprocher les différents acteurs: entrepreneur et centre de tri et/ou de recyclage par exemple[56]. En effet, l'importance du tri n'est pas toujours totalement claire dans le cas de l'entreprise générale alors que les centres de tri et de recyclage connaissent la nature finale de la fraction triée, permettant d'avoir un autre regard sur le tri mené à la source.

Contrôle et certification

Il a été mentionné précédemment que les matériaux de réemploi étaient la plupart du temps dans l'incapacité de proposer l'équivalent des fiches d'informations techniques fournies à l'achat de tout matériau neuf de construction. Les produits de construction passent en effet par des protocoles précis de contrôle et de tests qui leur permettent d'obtenir entre autres la certification CE (indispensable à tout produit commercialisé) et qui sont difficilement envisageables dans le cas de matériaux de réemploi. Dès lors, il est extrêmement difficile de pouvoir préciser leurs performances. Le processus de contrôle des éléments de réemploi diffère complètement de ceux des produits classiques. Le contrôle visuel est la première étape réalisée. Ensuite, l'expertise et le savoir-faire du revendeur et de l'entrepreneur peuvent servir également de « garantie » par rapport à la qualité du matériau. Une recherche historique précisant l'origine et ainsi les performances initiales du matériau peut également être menée. En général, ces démarches suffisent dans le cas où le matériau de réemploi n'est pas employé à des fins pour lesquelles des performances particulières sont attendues. Dans le cas où le matériau de réemploi est réemployé dans une fonction portante, dans le cas où il entre en ligne de compte dans la réglementation incendie, des tests et contrôle devront être conduits pour assurer la compatibilité du matériau à la fonction attendue[57]. Ces procédures sont envisageables dans une certaine mesure, mais représentent un investissement supplémentaire en temps et

56 - Proposition de piste d'action formulée dans une étude de Rotor pour le compte de Bruxelles Environnement: *Rapport pour l'étude "Encadrement technique pour l'élaboration d'un appel à projet sur la collecte des déchets sur les petits chantiers en Région de Bruxelles-Capitale"*, Bruxelles, juillet 2012.

57 - Par exemple, dans le cas du projet BedZED au Royaume Uni, une grande partie des structures métalliques sont des matériaux de réemploi provenant essentiellement de la rénovation de la Brighton Railway Station. Ces poutrelles en acier, pour être réutilisées, ont fait l'objet d'une recherche historique et de certains tests de contrôle garantissant leur propriétés mécaniques.

en argent.

Sociétale et culturelle

Un autre obstacle au réemploi, particulièrement difficile à évaluer, concerne les barrières psychologiques provenant de **facteurs sociétaux et culturels**. En effet, l'emploi de produits de seconde main relève souvent d'une nécessité, de convictions personnelles et de pratiques héritées[58] (mode de vie) ou simplement d'un effet de mode[59]. Pour certains, recourir à des matériaux de réemploi représente un véritable obstacle puisqu'ils les considèrent comme des produits délaissés, de peu de valeur: s'ils achètent un produit, ce dernier se doit d'être neuf, blinquant, dénué de trace d'usure ou d'imperfection. Il s'agit là d'un héritage du formatage de notre société occidentale industrialisée. D'autres recourent à ces produits parce qu'ils n'ont pas d'autres choix: les prix souvent attractifs des objets de seconde main suffisent à les convaincre puisqu'ils n'ont souvent pas les moyens de s'acheter autre chose (*Les petits riens* sont un bon exemple). D'autres enfin font du « chinage » par conviction parfois en réaction à notre société de consommation ou par passion c'est-à-dire pour le plaisir de chercher des objets singuliers, pour le plaisir de collectionner ou de négocier les prix (chose plus difficilement envisageable dans le cas d'objets neufs). Dans le cas des matériaux de construction, les tendances (besoins, conviction, passion) peuvent être similaires même si elles sont moins clairement observées (surtout pour la passion). Il est certain que pour une partie de la population, le recours à des produits de réemploi sera difficilement envisageable, alors que d'autres seront prêts à y recourir si les prix sont attractifs ou qu'ils sont justement intéressés par le caractère singulier de ces matériaux (rareté, ancienneté). De nouveau, l'intérêt des MO pour ce type de matériaux est relativement imprévisible (autant que l'offre), même si un travail d'information et de sensibilisation est envisageable.

2. Le recyclage

Définition et nature du produit

Dans la législation relative aux déchets, il existe une réelle imprécision quant à la définition précise du terme déchet et à son statut. La difficulté réside également au niveau de la frontière entre matériau de réemploi, déchet, matière première secondaire, coproduit... À partir de quel moment le déchet n'est-il plus considéré comme tel? Dans le cas du recyclage, nous parlerons de **matières premières secondaires** une fois le déchet traité. Dans le cas du matériau de réemploi précédemment traité, cette frontière est moins précise puisqu'il n'existe pas réellement d'opération de traitement en tant que telle. Dans le cas où le « déchet » est réutilisé in situ directement,

58 - Voir à ce sujet le film d'Agnès Varda: *Les glaneurs et la glaneuse* (2000).

59 - Par exemple, le succès actuel des objets 'vintage' ont fait par ailleurs grimper les prix de certaines pièces récupérées.

nous ne pouvons pas réellement parler de « déchet ». Par contre, dans le cas où les fractions sont évacuées du chantier, il y a bien production de déchet. Nous pourrions envisager que les matériaux de réemploi ne constituent plus des déchets à partir du moment où ils sont mis en vente.

Disponibilité, prévisibilité, accessibilité

De manière comparable aux matériaux de réemploi, il existe une réelle question d'approvisionnement en matières premières recyclées. Dans le cas des inertes, leur présence en quantité considérable dans les constructions et le taux de renouvellement du parc immobilier nous amènent à penser que leur approvisionnement n'est pas forcément compromis. Ce n'est pas nécessairement le cas d'autres fractions.

Dans l'hypothèse où le bâti existant est effectivement considéré comme un gisement de matières valorisables, la difficulté réside dans la prévisibilité de leur disponibilité: Quand ces bâtiments vont-ils être rénovés, démontés ou démolis sélectivement? Et dès lors, quand l'accès à la ressource sera-t-il rendu possible et en quelle quantité? Qui en sera le « propriétaire »: le MO ou l'entrepreneur? Ces inconnues représentent une difficulté supplémentaire à laquelle toutes les filières de recyclage ne pourront faire face étant donné le besoin de sécurité en approvisionnement que leur fonctionnement requiert. Toujours dans cette optique de gisement matériel, une des dérives que constituerait la garantie en approvisionnement serait la démolition ou la rénovation programmée des bâtiments. En comparaison du phénomène observé d'obsolescence programmée des produits de consommation, la programmation de la fin de vie du bâtiment apparaît comme une question bien plus complexe. Et même si l'ensemble de ses composants est valorisable en tant que ressource, les processus de rénovation et de démolition ne représentent pas moins des opérations présentant des impacts environnementaux de par la mise en mouvement de flux matériels et leur traitement.

Chantier et « impuretés »

Nous en avons discuté précédemment dans le chapitre sur les opportunités d'optimisation de recyclage, une des principales barrières au recyclage effectif concerne l'incompatibilité entre la qualité des fractions obtenues sur chantier et la qualité requise par les procédés de recyclage. La question de la pureté des fractions obtenues sur chantier relève de deux paramètres, d'une part du **système constructif** employé, d'autre part des **pratiques de tri** opérées. Le système constructif et les modes d'assemblages détermineront la facilité de dé-mise en oeuvre ou de **séparabilité** des éléments constituants. Dans le cas où une démolition est inévitable, les fractions seront mélangées réduisant considérablement les opportunités de recyclage. Ces opportunités de recyclage peuvent également être réduites par les pratiques de tri: l'avantage d'une séparabilité des éléments ne vaut rien si un tri sélectif à la source

n'est pas opéré. Et ces pratiques dépendent de divers facteurs: manque de place, manque de formation des ouvriers, types de contenants, systèmes de collecte existants... nous traiterons en partie de ces points ci-après.

Tri et système de contenant

La pratique actuellement la plus répandue est le rassemblement préalable des déchets en « tas » ou dans des sacs d'emballage de matériaux récupérés avant l'acheminement jusqu'au conteneur. Le conteneur de type Ampliroll représente à l'heure actuelle le contenant le plus fréquemment utilisé sur les chantiers en RBC. Or, le recours à ce type de contenant influence directement la pratique de tri des déchets sur chantier. En effet, dans les projets de petite ampleur présentant peu d'espace disponible pour le tri , il est rare d'avoir recours à plus d'un conteneur à la fois (correspondant en général à la location de 20m courants de voirie). Les déchets produits seront donc tous déversés dans ce dernier sans distinction. Dans une moindre mesure et pour les plus petites quantités de déchets générées, les big bag sont également un type de contenant rencontré. Enfin, dans le cas de chutes de matériaux légers (isolants par exemple ou éventuellement plaques de carton-plâtre), certains fabricants ou vendeurs offrent des sacs (équivalent sac-poubelle) pour récolter les déchets produits. Mais cette pratique n'est pas forcément courante sur les petits chantiers et constitue une faible quantité de déchets comparativement aux déchets de démolition.

Une étude récemment menée par Rotor pour le compte de l'IBGE fait l'inventaire des différents types de contenants pouvant être utilisés et réfléchit sur les possibles améliorations à apporter pour encourager le tri sur chantier[60]. Une des propositions formulées dans ce rapport concerne plutôt l'optimisation du système existant de contenants (et de transport adapté à ces derniers), plutôt qu'une révision complète des pratiques. En effet, le changement du type de contenant nécessite également une adaptation des modes de transport utilisés pour leur évacuation. De plus, si une des solutions envisagées pour encourager le tri sur chantier concerne la multiplication de contenants de taille réduite et éventuellement « empilables », elle aura également pour effet d'augmenter la fréquence d'évacuation et donc de transport. Au regard des impacts environnementaux que produit le transport routier et des engorgements actuels que connait la région, cette proposition semble moins adaptée qu'elle n'y paraît. Les conteneurs compartimentés pourraient constituer une autre solution, mais nécessiteraient, pour être rentabilisés en matière de volume, une estimation préalable des volumes générés pour les différentes fractions. À moins que le système de « compartimentage » soit flexible comme proposé par l'étude. Enfin, le rapport définit le modèle « hybride » comme étant peut-être le plus adapté à la situa-

60 - Rapport pour l'étude "Encadrement technique pour l'élaboration d'un appel à projet sur la collecte des déchets sur les petits chantiers en Région de Bruxelles-Capitale", Bruxelles, juillet 2012.

tion actuelle: il s'agit de combiner l'utilisation de conteneur pour le dépôt de déchets homogènes avec l'utilisation de sacs et déchets « empilés » de manière distincte en fonction de leur type, sorte de « structuration informelle » de tas de déchets facilement manipulables et évacuables. Ce type de « tri » entraînerait toutefois des répercussions sur les centres de regroupement et de tri.

Nous l'avons également déjà mentionné, mais la formation des ouvriers au tri est essentielle pour que ce dernier soit réalisé correctement. En ce sens, un réel travail de sensibilisation est à fournir. Ne connaissant pas la finalité des déchets triés, il est peu aisé pour ces ouvriers de comprendre le sens de leurs actes et d'identifier les actions et différenciations significatives à opérer pour faciliter le recyclage des fractions. Encore une fois, le rapport préalablement référencé conclut à l'importance de la mise en relation et de la collaboration.entre acteurs: ceux-ci étant, dans ce cas, les ouvriers de l'entreprise de construction et des centres de tri voire de recyclage.

Maturité technologique

Comme nous l'avons mentionné dans le point *Chantier et impureté*, une part importante des matériaux dits « recyclables » ne le sont pas en fin de vie à cause des fréquentes « contaminations » se produisant sur chantier avec les autres matières mises en oeuvre. Les processus de fabrication dans lesquels les chutes de production peuvent facilement être réinjectées ne supportent par contre pas la nature moins « pure » des déchets issus de chantiers. Il existe donc une inadéquation entre procédé de fabrication et procédé de recyclage en fin de vie.

De plus, il est parfois difficile de déterminer la nature exacte des déchets, même s'ils sont regroupés par fractions de même nature. En effet, les fabricants de matériaux ayant chacun leur « recette » propre, si la marque de ce dernier n'est pas apposée sur le produit, il est malheureusement difficile d'en connaître la provenance et dès lors, sa composition.

Un autre élément concerne le taux admissible de substitution des matières recyclées aux matières premières. Ces taux ont progressivement augmenté ces dernières années grâce à la réalisation de plusieurs recherches[61] et une évolution parallèle de certaines normes (exemple pour les inertes). En général, l'introduction de matières recyclées tend à réduire les performances générales du matériau, tout dépend en réalité du matériau final et des fonctions attendues. Néanmoins, au regard des avancées récentes, nous pouvons croire en la capacité d'évolution et d'optimisation des procédés de recyclage même si une « perte de valeur » est en général incontournable.

61 - Dont le projet européen IRCOW qui a été cité à plusieurs reprise dasn le chapitre précédent.

Une dernière question se réfère au nombre de cycles de recyclage qu'une matière peut supporter. Effectivement, même si certains matériaux sont définis comme recyclables à l'infini comme l'aluminium ou le gypse, le recyclage nécessite une transformation physico-chimique de la matière qui peut provoquer une dégradation progressive au fil du nombre de recyclages effectués. En outre, tous les matériaux de construction n'offrent pas des qualités de recyclage infini comme ceux qui viennent d'être cités. Aujourd'hui, ils subiront au mieux un seul cycle de recyclage.

4.6.4. Opportunités d'action, de responsabilisation: outils existants

Pour l'architecte et l'entrepreneur

Cahier des charges, métrés et plans

Le cahier des charges est un document qui vise à définir de manière exhaustive les différentes spécifications relatives à un produit et ses modalités d'exécution, ou à un service à réaliser. Ce document, souvent scindé en deux parties (générales/administrative et technique), instaure un cadre à la mission et est considéré comme un référentiel contractuel entre le client (MO) et le prestataire de service (entrepreneur). Bien que ce document soit signé par le MO et l'entreprise de construction, c'est en général l'architecte qui en est l'auteur. Le cahier des charges accompagne et complète les plans et métrés réalisés dans le cadre du projet. Dans le cas de projets de petite envergure, il arrive qu'un métré détaillé et descriptif lui soit parfois substitué.

En quoi est-ce un outil pour une meilleure valorisation? Dans la partie technique, une description de ce que le poste du métré comprend est donnée ainsi que les types de matériaux concernés et le mode de mise en oeuvre de ces derniers. En tant que concepteurs, nous pouvons donc prescrire des matériaux de réemploi par exemple et spécifier leurs conditions de stockage/dé-mise en oeuvre et remise en oeuvre. Nous pouvons également fixer des exigences en matière de tri et de démontage des éléments construits. Un plan de gestion des déchets peut également être prescrit afin d'assurer la destination des différentes fractions. Dans le cas de plus gros marchés ou de marchés publics par contre, les prescriptions de matériaux sont en général fortement détaillées (modèles types souvent communiqués par le fabricant ou dans les documents de référence de marché public) et se réfèrent à une série de protocoles de contrôles et de tests extrêmement formalisés auxquels les matériaux naturels non manufacturés (terre crue, paille) ou les matériaux de réemploi ont du mal à répondre [GHYOOT, 2014]. Le travail sur la manière de prescrire un matériau possède donc énormément d'importance[62] puisqu'il permet également d'opter pour l'écriture d'articles spécifiques à ces matières. Notons qu'en général, les architectes

62 - Le projet Opalis mené par Rotor et financé par Bruxelles Environnement vise à inventorier une série de revendeurs de matériaux de réemploi pouvant répondre entre autre à cette question de possibilité de prescription (www.opalis.be)

se basent sur des cahiers des charges types auxquels ils ajoutent ou enlèvent des « prescriptions » types souvent formulées par les fabricants. Dès lors, toute modification d'éléments prescriptifs entraine un travail supplémentaire. Dans le cas de plus petits projets, certains opteront pour des prescriptions plus « light » permettant plus de souplesse quant à l'utilisation de matériaux moins « standardisés »[63]. Par ailleurs, l'intégration d'une démarche de réutilisation dans les postes du cahier des charges par l'adaptation de certains articles constitue sans doute l'action la plus simple dans le cas de petits projets. Les informations à fournir devront spécifier pour les différents postes si les éléments construits existants (dans le cas d'une rénovation) sont[64]:

- à conserver et maintenir
- à démonter et stocker (sous quelles conditions en précisant la finalité: réemploi ou recyclage in situ)
- à évacuer sous quelles conditions et vers quelles filières (réemploi ou recyclage hors site).

Quant à l'entrepreneur, il se doit de respecter les clauses du cahier des charges et de prendre les mesures nécessaires pour mettre en oeuvre les spécifications notamment par la formation et l'information des ouvriers sur chantier.

Prédiagnostic et inventaire des déchets

Afin d'optimiser l'utilisation des ressources matérielles existantes (dans le cas d'une rénovation), il est important de pouvoir les diagnostiquer préalablement au commencement du projet: observer le potentiel des lieux, des espaces et des matières pour permettre de les conserver dans le meilleur des cas ou de les valoriser autrement (réemploi/recyclage in situ ou hors site). Il s'agira bien souvent de réaliser un reportage photo reprenant les éléments essentiels, leurs identification, état, localisation et éventuellement quantités estimées. Il sera décidé dans la suite du projet de leur conservation ou de leur réemploi sur site ou ailleurs. Le projet de l'Athénée Riva Bella du bureau AAAR et celui des Brasserie Bellevue réalisé par le bureau d'architecture l'Escaut comprenaient ce type d'audit préalable. Cette opération leur a permis de récupérer et de réemployer une proportion plus ou moins importante de matériaux qui auraient sinon été évacués du chantier en tant que déchets.

L'inventaire déchets est un document reprenant l'identification et la quantification des différentes fractions de déchets qui seront produites par l'opération de rénovation ou de démolition. En Flandre, ce document a été rendu obligatoire pour tout projet de plus de 1000 m^2. L'avantage est de pouvoir anticiper les quantités et la na-

63 - Des exemples d'extraits de cahier des charges sont repris dans le Guide pratique réemploi et réutilisation des matériaux de construction (outils disponibles sur: www.cifful.ulg.ac.be).

64 - Informations provenant du Guide pratique réemploi et réutilisation d'élément de construction réalisé par le consortium Cifful, Ressources et Confédération Construction pour la Région Wallonne et la Région de Bruxelles-Capitale, éditions de l'Université de Liège, Cifful, Belgique, 2013, 44p

ture des déchets devant être évacuées, déterminant ainsi un prix et une planification de la gestion de ces déchets. L'optimisation de cette gestion aura pour conséquence l'amélioration possible de la qualité des fractions, la réduction des coûts par une meilleure organisation et planification sur chantier.

Plan de gestion des déchets

Le plan de gestion des déchets est réalisé, adapté et complété tout au long du chantier. Il reprend les types de déchets selon leur type et le code eural leur étant attribué, les volumes ou masses évacués, le type de contenant, la destination, le type de transport utilisé pour la collecte et le type de centre de traitement vers lequel ces déchets sont évacués. Il est en général rempli par l'entreprise de construction et constitue le document qui établit de manière officielle le réemploi ou le recyclage in situ et l'évacuation des déchets vers les différentes filières de traitement. Les bordereaux de transport qui constituent des documents obligatoires à conserver sont annexés au plan de gestion des déchets. La réalisation d'un plan de gestion des déchets est fréquente pour les gros projets, mais moins courante pour ceux de petite envergure. Or, il représente une base de données particulièrement intéressante (en termes quantitatifs, de modalités de collecte et de destination) et constitue la première étape de la traçabilité du périple des déchets. Dans le cahier des charges préalablement cité, il est également possible de prescrire la filière de traitement privilégiée pour les déchets produits (réemploi, recyclage), l'entrepreneur doit alors pouvoir s'y tenir. Le plan de gestion des déchets permet dès lors de tracer la fin de course des déchets et de vérifier si elle correspond bien à la prescription initiale.

Un tel outil permet une meilleure connaissance et une maîtrise des flux de déchets vers les différentes destinations, mais il a aussi le potentiel de faire évoluer les pratiques (méthodes et outils de travail) vers une meilleure organisation et planification des déchets sur chantier.

Dossier d'intervention ultérieure

Le dossier d'intervention ultérieure (DIU) est un document censé contenir toutes les informations utiles en vue d'assurer la sécurité et la santé des travailleurs lors de travaux ultérieurs portés à l'édifice. Depuis 2001, ce dossier est rendu obligatoire lors de toute transaction immobilière, il doit être transmis par le propriétaire du bien au nouvel acquéreur[65]. Ce document est donc une obligation légale du propriétaire[66], même s'il peut être établi par le coordinateur sécurité santé (s'il y en a un), par l'architecte et/ou l'entrepreneur. La mise à jour est rendue obligatoire dès la réalisation de travaux dans le bâtiment. Le DIU est donc une sorte de carte d'identité du bâtiment.

65 - Référence: www.notaire.be.

66 - Arrêté Royal du 25/01/01 et du 19/01/05 (définition art.34,35,36).

Les informations devant être reprises dans ce document concernent entre autres[67]:
- l'identification des matériaux utilisés (dont les fiches techniques),
- l'identification des éléments structurels et essentiels de l'ouvrage,
- les plans as built corrects[68],
- l'identification (nature et situation) des différentes techniques et gaines,
- la fréquence et la nature des entretiens, maintenances et remplacements et l'identification des éléments concernés par ces derniers.
- les informations nécessaires à la réparation, au démontage, à l'accessibilité des installations et éléments de construction
- la justification des modes d'exécution, techniques et matériaux choisis.

Mais de nombreux autres documents annexes accompagnent également le DIU comme:
- les permis d'urbanisme, d'environnement, d'exploitation, etc.
- les éventuelles études de sol
- le cahier des charges, métrés, bons de commande, factures
- l'inventaire des produits dangereux.
- le dossier technique et de maintenance (à fournir par l'entrepreneur)
- les plans et consignes de secours

Pour les projets de plus petite envergure, il existe également des DIU simplifiés. Les informations alors reprises dans le document concernent les plans as built corrects, l'identification des techniques (types et situation), les éléments structurels et le choix des matériaux. En outre, même si l'obligation de la réalisation d'un tel document incombe au propriétaire, l'architecte joue un rôle prépondérant dans la transmission d'informations.
Bref, le DIU apparaît comme un véritable trésor d'informations. Même s'il s'agit d'une obligation légale, dans les faits, et pour les petits projets, ce document est souvent manquant ou incomplet. Pourtant, quasiment toutes les informations nécessaires à une valorisation optimale sont réunies: provenance, spécifications techniques, composition... De plus, les plans, métrés et cahiers des charges concentrent toutes les informations nécessaires à l'identification des types et quantités pouvant alimenter la connaissance sur le stock matériel contenu dans les bâtiments. Nous soutenons donc qu'il existe des outils aujourd'hui inexploités qui pourraient constituer une aide à l'optimisation actuelle et future des déchets.

67 - Informations récoltées sur le site www.securisan.be (réseau des coordinateurs sécurité-santé).
68 - Ces plans doivent contenir les plans d'architecture, les plans de stabilité et de techniques spéciales à jour.

Pour les fabricants et producteurs

Responsabilité élargie des producteurs

La responsabilité élargie des producteurs (REP) a concrètement pour objectif de transférer la responsabilité de la gestion des déchets engendrés par la consommation de différents produits aux producteurs, distributeurs de leurs propres marques ou importateurs à l'origine de leur mise sur le marché. Cette obligation pousse les producteurs à internaliser dans le prix de vente du produit, les coûts de gestion de ce dernier une fois usagé. Cela aura évidemment tendance à augmenter le coût initial d'achat. Mais cela a aussi pour conséquence directe de pousser les fabricants à tendre vers une écoconception de leur produit. En effet, la gestion de déchets dangereux ou non valorisables représente un coût important en fin de vie. Si les fabricants sont rendus responsables de la gestion en fin de course, ils ont tout intérêt à mettre sur le marché des produits valorisables qui leur coûteront proportionnellement moins cher, d'autant que la règle de la hiérarchie d'action leur est également applicable. Il arrive que les producteurs s'associent en filière pour la gestion collective de ces déchets. Il leur est également possible de déléguer à un autre organisme cette gestion, mais ils en restent responsables financièrement. Notons toutefois que de nombreux acteurs sont impliqués par cette REP: cela passe du producteur initial au détenteur, négociants intermédiaires, transporteurs, collecteurs de déchets, entreprises liées au traitement des déchets.

La REP a initialement été proposée par l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économiques) auprès des pouvoirs publics[69], l'objectif étant la réduction de la production de plus en plus problématique de déchets non recyclables ou non biodégradables. L'Europe adopte rapidement le principe puisqu'elle y voit une incitation à trouver des procédés *utilisant efficacement les ressources tout au long du cycle de vie des produits (comprenant réparation, réemploi, démontage, recyclage) sans compromettre la libre circulation des marchandises dans le marché intérieur*[70]. De plus, elle s'appuie sur les principes du pollueur-payeur et de responsabilité environnementale. La mise en oeuvre de la directive par les États membres est laissée libre sur un certain nombre de points comme:

- déterminer si la responsabilité du producteur est applicable à l'ensemble de la chaîne de traitement ou si cette responsabilité (du producteur et du détenteur) peut être partagée/déléguée à d'autres acteurs de la chaîne.
- déterminer si l'organisation de la gestion des déchets incombe totalement au producteur initial ou si cette responsabilité peut être en partie partagée avec le distributeur du produit.
- préciser les conditions de responsabilité dans leur ensemble

69 - Voir: OCDE, *Responsabilité élargie des producteurs: Manuel à l'intention des pouvoirs publics*, éditions OCDE, 21 décembre 2001, 176p.
70 - Directive 2008/98/CE.

À l'heure actuelle en Belgique, la REP traduite sous la forme d'*obligation de reprise* concerne environ une vingtaine de flux de déchets dont les équipements électriques et électroniques- DEEE (Recupel), les batteries et piles (bebat), les VHU (véhicules hors d'usage), les huiles (ex: valorfrite), les emballages (fostplus, val-i-pac). Elle fait l'objet de conventions environnementales entre les pouvoirs publics régionaux et le secteur industriel concerné (ou ses représentants). Notons cependant que l'application de cette obligation pose certaines questions par rapport aux filières de réemploi et d'économie sociale[71]. En effet, les organismes chargés de la mise en oeuvre de l'obligation de reprise défendent principalement les intérêts du secteur privé qui divergent des intérêts du secteur du réemploi et de l'économie sociale.

Nous pouvons remarquer qu'aucun matériau de construction n'est encore concerné par le principe de la REP ou de l'obligation de reprise. Nous y voyons cependant une opportunité immense dans un objectif de valorisation optimale, d'autant qu'une certaine « liberté » est offerte aux états membres quant à l'application du principe de responsabilité élargie. Ce principe est également directement lié aux courants théoriques développés dans la première partie de cette recherche: l'utilisation de la conception comme outil de prédilection encourageant la transition de nouveaux modèles industriels et constructifs. Nous citerons entre autres la capacité de *démontabilité* et/ou de *séparabilité* des éléments construits comme facteurs favorisant la récupération et la valorisation des différents composants par l'introduction de ces derniers dans de nouveaux cycles. Le petit « bémol » se situerait toutefois, comme le cite l'asbl Res-sources, au niveau de la compatibilité d'intérêts divergents entre l'économie du réemploi et celle du secteur industriel.

Marquage

Nous situons ici l'outil *marquage* dans une démarche purement prospective. En effet, bien qu'aujourd'hui le marquage des produits fait souvent référence à l'apposition du certificat CE (c'est à dire que le produit est considéré comme conforme à la législation européenne), nous nous référons plutôt ici à un marquage moins soumis à une réglementation stricte de contrôle et de tests. Nous l'avons évoqué précédemment, un des obstacles au réemploi et au recyclage des déchets concerne, entre autres, le manque chronique d'information technique sur les matériaux arrivés en fin de vie. Ainsi, si les matériaux étaient chacun porteur d'une « marque » (souvent celle du fabricant) ainsi que de leur année de fabrication, il serait nettement plus rapide d'en retrouver l'origine, et d'en connaître la nature et la composition exacte.

Économie de service ou de fonctionnalité

Une autre piste parfois dégagée, mais aussi difficile à mettre en oeuvre dans le cas de la construction concerne l'économie de service ou de fonctionnalité. Avec l'avène-

71 - www.res-sources.be.

ment des enjeux environnementaux et au regard de notre société de consommation, plusieurs scientifiques et penseurs s'accordent à dire qu'une modification du statut de « propriété » doit s'opérer dans notre société. Une économie basée sur le service reviendrait à « louer » une fonction aux particuliers plutôt que de leur « vendre » un produit dont ils se déferont quelques années plus tard (voire quelques mois pour certains). Cette pensée s'oppose donc à la notion d'*obsolescence programmée*. En effet, par la location de leurs produits, les producteurs se rendent également responsables de leur entretien et de leur maintenance (service), ils ont donc tout intérêt à allonger les durées de vie et à rendre leurs produits plus robustes et plus facilement démontables pour en faciliter la réparation. Tout comme la REP, bien que plus globale, cette approche permet de responsabiliser les fabricants par rapport aux objets et éléments manufacturés qu'ils mettent sur le marché. Bien évidemment, la démarche nécessite une révision de nos modèles économiques et de ce fait, entraîne également un véritable changement de paradigme pour notre société: il faut en effet convaincre la population qu'un service est plus avantageux que la possession d'un bien, difficile dans une société matérialiste basée sur l'*avoir*.

Cependant, dans le cas des matériaux de construction, la transposition du principe n'est pas chose aisée. Les durées de vie des matériaux mis en oeuvre sont particulièrement longues comparativement aux autres biens de consommation, rendant difficiles les prévisions des entreprises de fabrication. Par ailleurs, cela reviendrait également à considérer le bâtiment comme un bien de consommation, mais est-ce réellement le cas ou doit-il le devenir? Évidemment, certains éléments du bâtiment pourraient plus aisément être adaptables, notamment au niveau des techniques spéciales et des équipements: chaudières, panneaux solaires et photovoltaïques, double flux et pompe à chaleur pourraient être loués plutôt que vendus aux particuliers, les systèmes d'éclairage pourraient fournir un service au niveau de la qualité lumineuse intérieure (en nombre de Lux par exemple), etc.

Déclaration environnementale de produit

Les déclarations environnementales de produit (EPD en anglais) de types III[72] reprennent des informations détaillées et quantifiées quant aux aspects environnementaux et sanitaires des produits, sur base notamment de la réalisation d'analyse du cycle de vie (ACV) intégrant le traitement en fin de vie. Ces informations, vérifiées par un organisme tiers assurant l'indépendance et la transparence des résultats, sont fournies par le fabricant et sont à charge de ce dernier. Il n'existe pas encore de programme d'EPD à l'heure actuelle en Belgique (plusieurs produits possédant un EPD sont néanmoins présents sur le marché) bien que de nombreuses études et

72 - Les EPD de type I et II concernent des labels environnementaux ou des autodéclarations pas forcément vérifiés par des organismes tiers. Les règles de base pour les EPD de type III sont reprises dans les normes ISO 14025 et 21930 et ont été harmonisées au niveau des produits de construction par le Comité Technique européen CEN TC 350

démarches préparatoires aient été entreprises en ce sens[73]. Les EPD ne constituent pas en soi un outil soutenant l'optimisation de la valorisation des matières, mais possèdent l'avantage de communiquer sur les impacts environnementaux et sanitaires réels des produits mis sur le marché. C'est un premier pas vers une meilleure transparence du système qui permettra aux concepteurs, entrepreneurs et MO d'effectuer un choix plus « conscient ».

Pour le législateur et l'administration

Le législateur se charge en général de transposer au niveau national les directives européennes sous forme d'ordonnances et d'arrêtés. Il s'agit d'un acteur particulièrement important dans le changement bien que les transpositions de directives prennent du temps. Mais le rôle du législateur n'est pas seulement de transposer des directives, il possède un rôle important de sensibilisation et d'information de la population. En outre, c'est également l'acteur qui possède un réel pouvoir de décision et d'action sur l'adaptation, la transformation et la création de nouvelles réglementations, normes... Par exemple, dans le cas du traitement des déchets, la taxation dissuasive en matière d'élimination mise en place il y a plusieurs années a considérablement réduit la mise en décharge, et a ouvert le marché à de nouvelles activités (recyclage, valorisation énergétique). Aujourd'hui, seuls les déchets ultimes (c'est-à-dire qui ne sont plus valorisables) sont acceptés en CET (centre d'enfouissement technique).

Le rôle de l'administration est également de mettre en place des règles, guides, et lignes directrices facilitant l'information, la sensibilisation et le changement. Nous souhaitons à ce propos souligner la volonté politique forte mise en place notamment par le lancement du concours Bâtiments Exemplaires en 2007 et qui a permis de lancer véritablement le marché de la construction et la rénovation dites « durables » à Bruxelles. En outre, les nombreuses primes à l'énergie et primes à la rénovation octroyées par la Région, de même que le développement de structures de conseils (facilitateurs), ont fortement encouragé les particuliers à rénover et/ou investir dans des technologies de productions d'énergies alternatives, ayant pour conséquence de boosté l'activité du secteur. Bien sûr, certains effets « indésirables » se sont manifestés de telle sorte que ces primes et incitants ont été adaptés avec le temps. Dans le cas de l'optimisation de la valorisation des déchets, certaines initiatives, notamment dans l'alliance emploi-environnement, ont déjà été mise en place, mais de manière très ciblée. Nous sommes convaincus du rôle primordial que jouent les administrations et la région pour encourager la valorisation effective des matières. Cette action doit être menée à plusieurs niveaux dont voici quelques exemples non exhaustifs:

- la réalisation d'études et de projets pilotes, pourquoi pas sous forme d'appel à projets comme pour les Bâtiments Exemplaires. Outre l'introduction des standards passifs dans la capitale (jusqu'alors inexistants), ce concours a également

73 - Informations disponibles sur le site du CSTC (www.cstc.be)

permis à certains architectes de « se faire la main » et de continuer à présent dans cette voie.
- la mise en place d'incitants financiers pour encourager les démarches volontaires
- la mise en place d'obligations (comme l'obligation de reprise ou de recyclage pour les fractions pierreuses) et de réglementations inspirées de l'expérience des deux premières actions citées ci-avant.
- la définition d'objectifs précis comme la proportion de recyclage permettant d'évaluer l'évolution.
- un travail de communication et de sensibilisation important envers la population, mais surtout les professionnels du secteur (pour encourager la valorisation)
- l'organisation pour les professionnels de formation spécifiques voire de voyage à l'étranger pour observer des exemples de bonnes pratiques.
- la récolte de données inventoriées fiables (concernant le gisement et les flux: métabolisme urbain)

La région bruxelloise est déjà relativement active dans l'ensemble de ces démarches, mais pas encore suffisamment axée sur les déchets comme ressources. Les enjeux soulevés par cette hypothèse doivent en effet être envisagés sur le long terme: nous pensons notamment à la récolte de données concernant le stock matériel bâti dans une optique de gestion optimisée de nos ressources locales.

Pour le particulier

Le citoyen a également sa place dans le tableau puisque c'est lui qui va être à la base de la demande. Or, ce n'est pas parce qu'une demande existe que l'offre suit toujours, mais il est certain que l'offre ne peut « fonctionner » sans demande. Le citoyen a également la force du nombre, les mobilisations citoyennes permettent d'ailleurs dans certains cas de faire agir les politiques et institutions. Mais à l'heure actuelle, malgré une volonté croissante de changement, ce citoyen est déresponsabilisé d'une série de questions dont il connaît en réalité peu les enjeux. Nous avançons donc que le manque d'action citoyenne relève plus de la non-connaissance d'un problème que d'une réelle volonté d'inaction. Les pouvoirs publics, et dans une autre mesure l'architecte (ou encore les médias), ont par contre le pouvoir de sensibiliser cette population et surtout de les informer des enjeux et opportunités réels d'action, car le changement ne peut s'opérer sans le « consentement » de la population.

Notons, en outre, que le privé possède tout de même un certain nombre de responsabilités légales dont certaines ont été mentionnées précédemment: principe du pollueur-payeur, obligation de mise à jour et de communication d'un DIU et d'un certificat PEB lors de toute transaction immobilière. Il est important que le particulier soit bien informé de ces obligations légales.

Conclusions

La liste reprise ici n'est évidemment pas exhaustive, de nombreux autres acteurs interviennent lors de l'élaboration d'un projet et jouent également de près ou de loin un rôle dans la chaîne de valorisation des matières. Dans la deuxième partie de cette recherche, nous avons mentionné l'importance de tendre vers une approche intégrée du projet, c'est-à-dire, en regroupant l'ensemble des acteurs le plus tôt possible autour de la table, en amont du projet. Nous avons également mentionné l'hypothèse d'introduire de nouveaux profils d'acteurs comme le « responsable déchets » sur chantier ou le consultant ou « facilitateur en valorisation de ressources ». Néanmoins, nous avons opté ici pour une considération des acteurs et outils déjà existants en nous concentrant sur les pistes qui nous apparaissaient comme les plus pertinentes dans la facilitation de l'optimisation de la valorisation des déchets comme ressources. Ainsi, nous avons pu voir que certains outils actuels pouvaient représenter des leviers d'action à différentes échelles, mais ils sont actuellement inexploités ou leur potentiel d'action est inexploré. Nous proposons donc de partir de ces outils pour enclencher les premiers changements vers une valorisation optimale de la matière, quitte à introduire par la suite de nouveaux outils et de nouveaux acteurs tel que proposé dans la partie 2 de cette recherche.

4.7. CONCLUSIONS

Dans cette partie de la recherche, nous avons voulu aller au-delà de l'analyse qualitative et quantitative des stocks et flux de matières engendrés par la rénovation énergétique (*bilan matière*) en proposant d'évaluer le potentiel de valorisation que constituent les éléments construits. Nous avons appelé l'évaluation de ce potentiel *valorisabilité*. L'approche proposée poursuit un double objectif. Au-delà du constat quantitatif, elle nous permet d'anticiper l'étape suivante qu'est la valorisation des stocks et des flux matériels. Ensuite, l'évaluation nous permet aussi d'identifier la pertinence, d'un point de vue potentiel de ressources, des solutions d'amélioration thermique des parois actuellement proposées (comparées au potentiel initial de l'existant). Une mise en parallèle avec le bilan environnemental des parois est également opérée. Les résultats des évaluations réalisées nous montrent que les deux types d'analyses (qualitative et quantitative) devraient être considérés de façon complémentaire (et non indépendante) dans l'interprétation de leurs résultats, avec une prévalence pour l'impact environnemental: la *valorisabilité* vient en réalité compléter l'écobilan en offrant un nouveau point de vue, à savoir une information sur les possibles ressources contenues dans les parois.

Concernant les résultats obtenus, les parois conservées et améliorées (indiquée *P.exist+* ou *P.exist++*[74]) apparaissent clairement comme les solutions de paroi les plus

74 - Nous souhaitons souligner le cas de la paroi *F.exist++* qui ne représente pas une paroi rencontrée dans les projets analysés en partie 3. En proposant cette paroi alternative, nous

favorables au niveau quantité de matière (Q) et énergie grise (EG) pour le bilan environnemental, alors que les résultats sont plus variables concernant l'indicateur de gaz à effet de serre (GES) et l'évaluation de la *valorisabilité*. Dans ce dernier cas, la difficulté de dégager des tendances claires dans les résultats réside entre autres dans le fait de considérer ou non le facteur de correction. L'application de ce dernier permet de comptabiliser la démolition préalable de la paroi existante dans l'évaluation, comme c'est le cas pour l'écobilan. Dès lors, dès l'application du facteur de correction, le degré prioritaire qu'est la prévention présente systématiquement un potentiel plus important pour les parois conservées/améliorées. Alors que les parois démolies/reconstruites posséderont des potentiels souvent les plus conséquents dans le cas du réemploi, du recyclage, du compostage ou de l'incinération: le facteur de correction ajoute effectivement le potentiel de la matière existante démolie aux potentiels des parois neuves reconstruites, ce qui explique les résultats élevés pour ces parois. La dérive que peut avoir ce type de résultats est l'interprétation en faveur d'une démolition reconstruction plutôt qu'une conservation de la matière. L'intérêt de pouvoir compléter l'évaluation par le bilan environnemental possède alors toute son importance. Sans facteur de correction, les tendances varient d'une composante à une autre, mais oscillent en général entre la solution de conservation (indiquée *P.exist+* ou *P.exist++*) et la deuxième solution de paroi neuve (indiquée *P.neuf*). Cette dernière présente également dans certains cas un bilan plus favorable en matière de gaz à effet de serre (il s'agit essentiellement de parois comportant des éléments bois ou des dérivés).

Ensuite, après la réalisation du bilan matière et l'évaluation de la *valorisabilité* des parois, nous avons voulu comparer le potentiel estimé (valorisabilité) avec la valorisation effective des fractions actuellement conduite. Cette approche a été développée dans le but d'identifier les éventuelles opportunités d'optimisation par fractions et par type de valorisation envisagé (réemploi ou recyclage). Pour la majorité des composantes existantes, un réel potentiel d'optimisation a été identifié souvent du recyclage vers le réemploi (exemples: briques pleines, tuiles terre-cuite, éléments en bois plein...). De façon complémentaire, nous avons traité des différents freins pouvant être rencontrés dans cet objectif de valorisation optimale, de même que nous avons envisagé certains outils comme d'éventuels leviers d'action pour tendre vers cet objectif d'amélioration de la valorisation des matières. Les freins sont nombreux, mais trouvent en partie réponse dans la responsabilisation des différents acteurs.En conclusion, l'optimisation du système actuel (ou dumoins l'amélioration de son fonctionnement et de la valorisation) est envisageable dans certains cas de figure princi-

avons souhaité montrer que certains matériaux, parfois plus difficilement "valorisables" en fin de vie (système ETICS...), peuvent être remplacés par d'autres matières plus avantageuses en matière de valorisation, de ressources ou encore d'écobilan. Le cas de l'enduit à l'argile en est un exemple: en plus de présenter des caractéristiques hygrothermiques intéressantes, ce matériau d'origine locale (en fonction de la nature du sol, les terres peuvent même provenir du site) s'avère être réutilisable à l'infini sans transformation de matière (contrairement au gypse).

palement considérant l'existant. Concernant la valorisation future, elle dépendra par contre de nombreux facteurs dont certains sont imprévisibles. En effet, le choix initial du matériau et de sa mise en oeuvre est particulièrement déterminant au niveau du potentiel théorique, mais la valorisation effective future de ces matières est, à l'heure actuelle, difficile à prévoir. Toutefois, il est nécessaire d'intégrer cette approche prospective (possibilité de valorisation future) dans la conception pour prévenir la génération future de déchets. Dans cette optique, certaines fractions clés identifiées en partie 3 et partie 4 (isolants, matériaux de finition...) mériteraient d'ailleurs une attention particulière quant à leur valorisation ultérieure, car elles constitueront nos déchets de demain. À cet effet, il est nécessaire de noter qu'à l'avenir, les fractions de déchets à traiter seront de plus en plus complexes (dans leur composition et nature) et de plus en plus diversifiées (multiplication de fractions différentes et diminution proportionnelle de la quantité par fraction).

Notons également que dans cette partie, nous avons préféré le terme « valorisation maximale » ou « valorisation optimisée » à celui de « bouclage ». Pourquoi? Tout d'abord, de notre point de vue, ces termes se rejoignent en grande partie. En effet, le terme de bouclage reprend selon nous l'idée d'une réintroduction dans un cycle, ce que proposent aussi bien le réemploi (nouveau cycle de vie) que le recyclage (nouveau cycle de fabrication) ou la valorisation organique (cycle biologique) que le bouclage ne différencie pas. En dehors de ces trois degrés de valorisation, il existe également un potentiel de valorisation énergétique qui ne semble pas repris dans l'idée de bouclage. Or, à l'heure actuelle, il s'agit d'un type de valorisation couramment utilisé pour faire en sorte d'éliminer la mise en décharge. La notion de « valorisation maximale » reprend donc cette possibilité de valorisation en étape. En outre, dans l'idée initialement soulevée de bouclage, il existe une certaine divergence de nature et de quantité entre entre les flux IN (matériaux neufs) et OUT (déchets) du secteur de la construction: dans la rénovation, le besoin principal en matières neuves concerne les isolants et matériaux de finition alors que les déchets produits sont essentiellement des inertes. Dans ce cadre, la non-concordance entre flux entrants (demande) et flux sortants (offre), rend compliquée l'application d'un bouclage à cette échelle. Néanmoins, il n'est pas pour autant impossible d'imaginer un processus de bouclage à plus grande échelle. Mais pour ce faire, il est essentiel d'identifier les conrrespondances entre offre en ressources (déchets) et demande de matière. En englobant l'ensemble du marché de la construction (dépassant le cadre de cette recherche) il sera certainement possible de créer des substitutions et des mutualisations de flux, mais seulement à la condition de pouvoir identifier et quantifier ces derniers comme cela a été proposé à plus petite échelle dans ce travail.

CONCLUSIONS

Au commencement de cette recherche, la réglementation PEB et parallèlement le lancement des appels à projets Bâtiments Exemplaires étaient déjà à leur troisième année de « fonctionnement ». Depuis plusieurs années, la question énergétique est devenue la préoccupation de tout architecte puisque l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments est devenue obligatoire et les exigences de plus en plus élevées. Déjà convaincus par la nécessité de réaliser des bâtiments moins consommateurs et plus durables, nous avons entamé cette recherche dans un contexte où la question énergétique était au centre des préoccupations. Suite à nos nombreuses lectures sur le métabolisme urbain, l'*écologie industrielle*, le *Cradle to Cradle*, ou le *4Dimensional Design*, nous avons pris conscience des limites de l'approche purement énergétique proposée.

En effet, dans le contexte environnemental actuel, la question de la disponibilité et de la finitude des ressources tout comme les capacités de la terre à supporter les effets néfastes collatéraux à la production sans cesse croissante de déchets sont particulièrement alarmantes. Or, le secteur de la construction est un des plus gros consommateurs de ressources et producteur de déchets. À l'heure actuelle, nous ne pouvons donc plus nous permettre de considérer le bâtiment uniquement sous l'angle énergétique sans nous interroger sur sa fin de vie ou la fin de vie de ses éléments constitutifs. C'est pourquoi des méthodes et outils comme l'analyse du cycle de vie, la déclaration environnementale de produit, la certification, etc. sont de plus en plus employés et généralisés. Mais ces outils sont principalement utilisés pour les nouvelles productions (matériaux ou bâtiments), qu'en est-il des matériaux et bâtiments déjà existants et qui concernent la majorité présente à Bruxelles? Pour des questions de coûts, de « facilité », et de performances (plus compliquées à atteindre dans le cas de rénovation), de nombreux bâtiments sont aujourd'hui démolis pour être ensuite reconstruits (surtout dans le cas de gros projets). Or, ces opérations ont un impact non négligeable sur la consommation de ressources et la production de déchets. Dans le cas des logements individuels, la rénovation reste néanmoins la pratique la plus courante.

Considérant le contexte défini ci-dessus, la recherche interroge les pratiques actuelles définies comme « rénovation énergétique et durable » (BATEX) dans leur implication en termes de ressources et de déchets. À la question souvent purement énergétique de ces rénovations, nous y ajoutons la notion de « matière », pour la valeur qu'elle représente au niveau esthétique, culturel ou historique, mais surtout en ce qu'elle a « coûté » à sa fabrication et en ce qu'elle « coûte » pour son traitement ou élimination en fin de vie. Inspirés des courants théoriques étudiés, nous proposons de considérer le bâtiment comme un stock ou gisement de matières pouvant possiblement devenir des ressources matérielles locales si une réflexion sur leur gestion et leur valorisation futures est menée. Il s'agit donc d'analyser les pratiques de rénovation actuelles en visant une démarche long terme de valorisation des gisements matériels locaux que représentent les bâtiments, et ce, dans le but de rejoindre une

économie plus circulaire. Dans cette optique, nous avons développé cette recherche en quatre parties distinctes, mais complémentaires, dont nous rappelons ici les principales conclusions.

PARTIE 1: CADRE THÉORIQUE

La première partie de ce travail constitue la base de réflexion de la recherche et nous a également inspirés dans l'élaboration des méthodologies proposées en partie 3 et 4. Nous y avons en effet abordé trois théories et disciplines différentes que sont l'*écologie industrielle*, le *Cradle to Cradle* et le *4Dimensional Design*, ce dernier étant le seul s'appliquant directement au domaine architectural. L'*écologie industrielle* ainsi que le *Cradle to Cradle* sont en effet d'abord développés pour le secteur industriel.

Globalement, nous avons pu observer que ces trois courants, bien qu'utilisant des termes et finalités quelque peu différents, se rejoignent sur un certain nombre de points. Un de ces points communs, et le plus important, concerne la référence à l'écodesign comme outil de prédilection pour tendre vers une optimisation de la valorisation des matières en fin de vie. La notion d'intégration de la fin de vie dans la conception initiale permet d'anticiper la production de déchets dans une vision dynamique, cette notion est donc également au coeur des réflexions des courants étudiés. Un des objectifs finaux est en outre la réalisation d'un bouclage des flux de matière, utilisant les déchets comme ressources, si possible indéfiniment et sans dommages pour l'environnement et la santé. L'application d'un tel objectif n'a pas encore été démontrée ni même réalisée, même si des exemples d'application divers visant ces desseins ont été mis en oeuvre par ces courants (symbioses industrielles, certification C2C...). Le développement d'une approche cyclique et dynamique intégrant le déchet (ou matière en fin de vie) comme une ressource potentielle est donc la notion commune aux théories abordées et qui est à la base de la démarche de cette recherche. Notons également que ces considérations rejoignent plus largement d'autres approches comme l'économie bleue, l'économie de fonctionnalité, ou l'économie circulaire définie récemment comme un des objectifs européens (et bruxellois[1]) et qui remettent en cause le fonctionnement linéaire de notre système économique.

Concernant l'application des préceptes énoncés à l'architecture, certains sont déjà implémentés dans des projets s'inscrivant dans une démarche durable sans pour autant se référencer à une des démarches théoriques préalablement citées (exemple: recours aux énergies renouvelables, gestion de l'eau et de la biodiversité, choix de matériaux à base de matières recyclées, etc.). Néanmoins, d'autres principes nécessitent adaptations et transpositions avant de pouvoir mettre en oeuvre des mesures concrètes et mesurables à l'architecture. Par exemple, en ce qui concerne le concept

1 - La Région de Bruxelles-Capitale travaille d'ailleurs actuellement à la réalisation d'un plan régional d'économie circulaire (PREC).

de bouclage, le secteur de la construction semble à l'heure actuelle encore bien peu adapté à l'application concrète d'un tel objectif. En outre, ces principes semblent parfois difficilement transposables aux spécificités du parc immobilier existant. L'implémentation d'une approche cyclique à l'architecture nécessite des changements importants au niveau des différents acteurs et à chacune des étapes du cycle de vie du bâti. Il nous faut en effet changer la manière dont nous avons appris à concevoir les matériaux et les bâtiments, et il faut adapter les pratiques sur chantier en conséquence. Or, tout changement, spécialement dans le secteur de la construction, prend du temps. En outre, plusieurs échelles d'action sont concernées, du plus petit composant d'un produit ou d'un matériau, à une ville, un territoire, une région en passant par les systèmes et unités bâties qui les constituent. Enfin, un changement ne peut s'enclencher que par une connaissance approfondie des flux et stocks de matières, d'énergie et des échanges internes au système considéré. Ce n'est que sur base de cette meilleure compréhension que nous pourrons prétendre à une optimisation du système vers un bouclage.

PARTIE 2: LE DÉCHET

Pour pouvoir prétendre considérer le déchet comme ressource, tel que proposé par le principe de bouclage, il nous fallait d'abord comprendre à quoi se réfère le terme « déchet », plus particulièrement dans le secteur de la construction: quels types et quelles familles sont rencontrés, quelles trajectoires et traitements sont suivis, quelle législation est applicable, quels acteurs sont concernés...? C'est l'objet de la deuxième partie de cette recherche. Cette partie nous a ainsi permis d'appréhender le déchet dans toute sa complexité: elle nous a amenés à identifier certaines imprécisions ou difficultés relatives à la définition même du déchet, nous avons abordé ses différentes filières de traitement, nous nous sommes attardés sur les différents acteurs impliqués et leurs responsabilités ainsi que sur le cadre législatif et réglementaire en vigueur influençant en grande partie les possibilités de valorisation.

De tout temps, l'homme a été responsable de la production de résidus. Néanmoins, le rapport au déchet et à sa gestion a évolué considérablement dans nos pays industrialisés, plus particulièrement depuis la fin du XIXe siècle [BARLES, 2005]. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette évolution: l'urbanisation et la démographie croissantes, l'avènement de notre société consumériste, le fonctionnement linéaire de notre économie, mais également la production de masse et la mondialisation qui ont permis à une large partie de la population d'avoir accès à des produits neufs à prix abordables, disponibles en grande quantité. Il est, à l'heure actuelle, souvent bien moins cher de jeter un produit défectueux et d'en racheter un neuf plutôt que de faire réparer l'objet initial, souvent conçu par ailleurs pour ne pas être « réparable »[2]. Dès lors, nous pouvons tout à fait comprendre la perte d'intérêt et de nécessité quant

2 - Nous faisons référence également à l'obsolescence programmée de certains produits de consommation mais relativement peu appliqué à l'architecture.

à la valorisation des produits, matières et objets devenus « déchets ». D'autant que le déchet est aujourd'hui stigmatisé et considéré comme indésirable, impropre[3], inutile et sans valeur, et seuls les plus nécessiteux y ont recours. Nous avons également fait référence à une sorte de « déresponsabilisation » de la population face à l'impact de sa consommation et des rejets que celle-ci provoque. La valorisation des déchets trouve aujourd'hui sa source dans la prise de conscience des enjeux environnementaux liés à leur gestion.

Concernant la **signification du terme « déchet »**, de nombreuses formes et natures coexistent et conduisent à diverses déclinaisons. Pour plus de précision, le terme « déchet » est souvent accompagné d'un qualificatif relatif à sa composition (déchet vert, déchet inerte, déchet ultime, déchets mélange...). De notre point de vue, lorsqu'il n'est pas « qualifié », nous avons proposé de considérer le déchet comme un e sorte d'état transitoire, une étape dans le cycle de vie d'un matériau en attente d'une revalorisation ultérieure. Nous rejoignons également l'approche de Jean-Marc Huygen qui définit le matériau de réemploi, anciennement « déchet », comme représentatif d'une nouvelle famille de matériaux. En réalité, si le « déchet » est valorisé comme « ressource », le terme même utilisé est contestable puisqu'il fait référence à une fin en soi (en tout cas dans l'imaginaire collectif, il est considéré comme « rebut » rebutant). Cependant, cette appellation fait encore bien partie de notre quotidien, bien que nous lui avons préféré dans certains cas le terme, un peu plus long, de « matière en fin de vie » (ou « matière en fin de cycle »).

Concernant le **cadre réglementaire**, nous retiendrons principalement les règles générales applicables à tous déchets, telles que le principe du pollueur-payeur défini par la Loi Cadre de 1975, ou encore la hiérarchie d'action de la Directive Cadre de 2008 fixant la prévention, la préparation en vue du réemploi et le recyclage en haut de la chaîne d'action avant la valorisation énergétique et l'élimination. Ensuite, une série de réglementations plus spécifiques à certains flux est également d'application. Nous retiendrons que les déchets dangereux font l'objet de nombreux ordonnances et arrêtés au niveau régional. Une obligation de reprise (responsabilité élargie des producteurs) est également d'application pour certaines fractions spécifiques, mais, malheureusement, elle ne concerne que très peu le secteur de la construction (déchets d'emballage des matériaux neufs, peintures et produits de traitements éventuels...). Concernant les déchets de C&D plus spécifiquement, il existe des réglementations relatives aux déchets d'amiante[4] et à l'obligation de recyclage de la fraction

3 - Le terme "immondices" par exemple, possède la même origine que le qualificatif "immonde", terme particulièrement négatif et rebutant.

4 - Les Arrêtés (du 14 octobre 1993 et du 23 mai 2001) déterminent l'obligation de sous-traitance de la gestion de ces déchets et les modalités prescriptives en matière de manutention, dépôt, emballage et transport de ce type de déchet. Enfin, l'Arrêté du 10 avril 2008 traite de l'obligation d'enlever l'amiante contenu dans les bâtiments avant leur démolition. Il est décrit qu'un inventaire amiante est nécessaire pour tout chantier de démolition/rénovation de bâtiment de plus de 500 m2 et datant d'avant 1998.

pierreuse ainsi que les conditions de réutilisation. Une dérogation à l'obligation de recyclage est néanmoins possible dans le cas où il n'existe aucune installation de recyclage dans un rayon de 60 km[5] (ce qui n'est pas le cas pour la RBC). Les réglementations actuellement en vigueur mériteraient dans certains cas des clarifications, des adaptations et évolutions: clarification générale quant aux responsabilités des acteurs et quant à la définition du « déchet » et de la « valorisation par le réemploi », évolutions et adaptations concernant la réutilisation des granulats recyclés de la fraction pierreuse et concernant l'extension de la responsabilité élargie des producteurs à certains déchets de C&D plus problématiques à traiter en fin de vie ou plus difficiles à valoriser.

Concernant les causes ou **sources de génération des déchets**, elles sont diverses et apparaissent aux différents stades du cycle de vie du bâtiment. Néanmoins, la phase de conception située en amont du cycle de vie d'un bâtiment est celle qui présente le plus d'impact sur la production future de déchets et la qualité de ces derniers. L'outil d'écoconception développé par les théories étudiées en première partie et préconisant l'intégration de la fin de vie des produits dans leur conception rejoint entièrement cette vision. Les causes de génération des déchets dépendent également fortement des différents **acteurs** impliqués et de leurs modes d'interaction. L'approche actuelle, compartimentée et linéaire, est génératrice d'erreurs de communication et de coordination ayant pour effet collatéral la production de déchets. Elle devrait donc tendre vers plus de collaboration, de communication et surtout, elle devrait intégrer une implication des différents intervenants dès la phase de conception. Leur expertise respective et la définition d'un langage commun permettraient de prévenir l'apparition de déchets. Une des clés à la prévention et à la réduction est donc la mise en place d'une gestion intégrée et dynamique du projet dès la phase initiale de conception.

Concernant les **étapes et filières** de traitement des déchets de C&D, elles sont parfois relativement développées et définies pour certaines fractions (inertes, métaux, bois), alors que d'autres mériteraient d'être renforcées, créées et étendues (tri sélectif à la source, réemploi) pour permettre d'atteindre l'objectif de la hiérarchie d'action prônée par la Directive Cadre. Grâce au système de taxation instauré et aux obligations récentes[6], la mise en décharge, communément appliquée il y a quelques années, a été fortement réduite. Les réglementations, taxations ou incitants financiers permettent donc d'influencer les pratiques de manière significative. En ce sens, la Région de Bruxelles-Capitale investit depuis quelques années dans l'élaboration de nombreux outils, études et actions pour encourager la prévention et une meilleure

5 - En effet, l'Arrêté du 16 mars 1995 spécifie que toute entreprise de C&D a l'obligation d'assurer le recyclage de la fraction pierreuse et sableuse de ses déchets. L'obligation de recyclage est donc à charge de l'entrepreneur. La Circulaire ministérielle du 9 mai 1995 vient préciser les conditions de réutilisation des fractions recyclées.

6 - Interdiction de mise en décharge pour les déchets non ultimes.

gestion et valorisation (notamment par le réemploi) des déchets de C&D. Toutefois, il persiste un manque de données concernant la qualité et les quantités de flux de déchets générés à la source, c'est-à-dire sur chantier. Une politique efficace en matière de prévention, de réduction et de réutilisation des déchets de C&D ne peut être envisagée qu'en ayant une bonne compréhension des dynamiques de flux engendrées par les opérations du secteur de la construction. La troisième partie de cette recherche propose d'aborder cette problématique par la mise en place d'une méthode d'identification et de comptabilisation appelée *bilan matière*.

PARTIE 3: BILAN MATIÈRE

Cette troisième partie de recherche a été développée en poursuivant plusieurs objectifs, le premier étant la confrontation de la rénovation énergétique et « durable » avec la problématique déchet/ressource identifiée dans le contexte. Pour ce faire, nous avons d'abord analysé les tendances d'intervention de la rénovation résidentielle définie comme « exemplaire » en RBC et ce, pour identifier les actions majoritairement menées quant aux démolitions et à l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments. Ensuite, nous avons voulu apporter un premier élément de réponse face au manque de données relatives aux gisements et flux matériels issus du secteur de la construction. La connaissance de ces informations, nous l'avons mentionné, représente en effet une étape préalable essentielle à l'identification de synergies et à une meilleure gestion des ressources et déchets à l'échelle régionale. Nous avons donc proposé d'établir une méthodologie visant l'identification et la quantification des stocks et dynamiques de flux engendrés par la rénovation énergétique et durable, et nous avons amorcé l'idée qu'elle puisse constituer à terme un outil d'aide à la planification de la gestion des ressources/déchets et de la rénovation.

Concernant l'**identification des tendances d'intervention de démolition**, nous avons remarqué que le degré de démolition envisagé varie d'une composante à une autre et d'un layer à un autre. Ainsi, la démolition complète s'applique préférentiellement aux composantes de toitures plutôt qu'aux façades ou aux dalles de sol. La façade avant est la composante qui possède le taux de conservation le plus important[7] alors la dalle sur cave est également conservée ou fait l'objet de démolitions partielles (aucune démolition complète n'a été répertoriée dans les cas étudiés). Certains layers sont aussi plus touchés que d'autres par la démolition, comme les layers intérieur et extérieur démolis en tout ou en partie, mais rarement conservés. Les couches et composantes préférentiellement démolies devraient donc faire l'objet d'une attention particulièrement quant à leur démontage et à leur valorisation. **L'analyse des tendances d'isolation** nous permet d'identifier les types d'isolants impliqués dans la rénovation exemplaire des bâtiments résidentiels bruxellois[8]. Nous retrouvons ainsi

7 - Cela semble justifié au regard des prescriptions urbanistiques en vigueur quant à l'aspect des façades à rue et à leur alignement.

8 - Nous l'avons mentionné, le cas des BATEX ne constitue pas la majorité des rénovations

certains isolants comme l'EPS ou l'XPS dans les systèmes d'isolation par l'extérieur ETICS (crépi sur isolant), la cellulose est surtout mise en oeuvre par insufflation dans l'épaisseur des structures bois, le PUR et la mousse résolique sont utilisés sous les dalles de sol et en toiture plate, et la fibre de bois est plus variée dans ses formes et ses utilisations. En outre, ces matières caractérisant la majorité des flux IN de la rénovation constitueront également les déchets auxquels la région devra faire face d'ici quelques années.

Concernant la seconde question relative au **gisement matériel** (ou stock) que représente le bâti et l'influence de la rénovation énergétique sur ce dernier par l'apport et la soustraction de matières (**flux IN/OUT**), nous nous sommes entre autres inspirés des approches appliquées par l'écologie industrielle et les études de métabolisme urbain pour proposer une méthodologie propre de comptabilisation adaptée au cas du bâtiment[9]. Bien que relativement simple dans son application, cette approche constitue une démarche relativement novatrice à l'échelle bâtie et en architecture[10]. La méthode a été appliquée à un cas concret d'étude. Nous avons donc opéré un bilan qualitatif et quantitatif de l'opération de rénovation selon deux unités (poids et volume) et en trois temps (avant, pendant et après rénovation), que nous avons également appelé ***bilan matière***. Les résultats obtenus confirment la part conséquente d'inertes[11] dans la construction aussi bien avant (pour l'unité de poids et de volume) qu'après la rénovation (uniquement pour l'unité de poids), ainsi que dans les déchets produits par l'opération (flux OUT). Les autres matières comprises dans les flux OUT concernent principalement le bois (structure, parquet) et les liants minéraux et dérivés (finitions). Concernant le bilan matière complet en termes de poids, le gisement avant et après intervention varie quelque peu, mais présente une ventilation des matières en présence relativement similaire. Par contre, ce même bilan considéré en volume montre une variation importante entre le gisement initial et le gisement après rénovation: la catégorie des isolants y constitue en effet près du tiers du volume total des matières contenues dans le bâtiment après intervention. Cela signifie que même si leur représentativité en poids est réduite, les matériaux isolants représentent donc une part importante du nouveau gisement de matières, et consti-

énergétiques actuelles mais représente certainement un optimum vers lequel la région souhaiterait tendre (avec certaines adaptations suite au retour d'expérience existant).

9 - Nous rappelons toutefois que cette méthode ne considère pas les installations et équipements techniques (difficilement quantifiables) et fournit des résultats de volume sans considération du coefficient de foisonnement des matières (quand elles sont démolies).

10 - Les études de métabolisme sont en effet majoritairement proposées selon une approche macro (top-down) à l'échelle d'une ville, d'un territoire ou d'une région. Dans notre cas, nous partons de l'unité construite (bâtiment résidentiel) pour ensuite élargir la vision au niveau régional (approche bottom-up).

11 - Dans la partie 2 de cette recherche, nous avons en effet spécifié que les déchets d'inertes représentaient plus de 90% des déchets de C&D (en poids). Ces déchets provenant de l'existant principalement à Bruxelles, il n'est donc pas étonnant que le gisement présent dans la construction soit principalement des matériaux inertes.

tuent plus de 80% des matières neuves mises en oeuvre avec une majorité d'isolants synthétiques (60%). Que signifient ces résultats? Ceux-ci indiquent que la part des inertes restera certes conséquente dans la construction, mais que nous devrons faire face à de nouveaux types de déchets (dont les isolants constituent la majeure partie) réclamant des renouvellements plus fréquents et donc induisant une production de plus en plus importante de déchet, du moins en termes de volumes générés.

Enfin, nous avons voulu montrer que l'analyse quantitative des processus de rénovation de bâtiments pouvait également conduire à l'élaboration d'un possible outil de planification de la gestion des ressources et déchets à l'échelle régionale. Nous ne possédons malheureusement pas suffisamment d'études de cas pour pouvoir prétendre actuellement au développement d'un tel outil. Par l'utilisation des ratios obtenus sur base du projet étudié, nous avons néanmoins voulu démontrer que ce type d'outil permettrait d'anticiper la nature et les quantités de flux produits et « consommés » au niveau régional par la rénovation du parc immobilier. Nous poursuivons donc ici l'objectif initialement formulé d'une meilleure connaissance des flux et des stocks matériels à l'échelle régionale. Notons qu'il s'agit d'une approche estimative et prospective qui dépend de divers facteurs: la représentativité du bâtiment à partir duquel sont obtenus les ratios, le type de rénovation envisagé (P, TBE, BE), le taux de renouvellement du parc immobilier (résidentiel dans ce cas) et la politique d'encouragement de la rénovation menée.

PARTIE 4: POTENTIEL MATIÈRE

L'identification et la quantification des stock et flux matériels proposées en partie 3 ne nous informent malheureusement pas sur le caractère valorisable des matières mises en oeuvre. C'est pourquoi la quatrième partie de cette recherche propose d'aller plus loin par la mise en place d'une méthode d'évaluation du **potentiel de valorisation** des éléments construits, appelé ***valorisabilité***. Par le développement de cette évaluation qualitative, nous souhaitons anticiper l'étape suivante à la quantification, à savoir la question de la valorisation des matières en fin de vie. De plus, cette évaluation nous permet d'identifier l'impact des solutions d'amélioration thermique des parois de l'enveloppe sur le potentiel de ressources matérielles qu'elles constituent. En outre, il nous paraissait essentiel de pouvoir compléter cette évaluation par l'analyse quantitative des impacts environnementaux de ces différentes solutions d'amélioration. L'évaluation de la *valorisabilité* est ici considérée comme complémentaire au bilan environnemental et indissociable de ce dernier dans l'interprétation de ses résultats. Ces évaluations sont appliquées sur une série de parois types dégagées à partir des projets et tendances d'intervention analysés dans la partie 3 avant d'être confrontées. Suite à ces évaluations, et pour "boucler la boucle", nous avons ensuite envisagé différentes pistes pour tendre vers une meilleure valorisation des matières en fin de vie, rejoignant ainsi l'idée initiale de bouclage[12] développée dans la pre-

12 - Nous avons préféré le terme de 'valorisation maximale' ou 'valorisation optimisée' à celui

mière partie de la recherche.

Concernant les résultats des **évaluations quantitatives (écobilan) et qualitatives (valorisabilité)**, nous observons que les parois conservées et améliorées (indiquée *P.exist+* ou *P.exist++*) apparaissent clairement comme les solutions de paroi les plus favorables au niveau quantités de matière et énergie grise (bilan environnemental), les résultats sont plus variables concernant leur degré de *valorisabilité* ou l'indicateur de gaz à effet de serre. Concernant la *valorisabilité*, des tendances claires sont moins facilement identifiables que dans le cas des écobilans. Tout d'abord parce que cinq degrés de valorisation sont proposés (potentiel de prévention, réemploi, recyclage, compostage et incinération) dont les résultats se différencient parfois de manière importante. Ensuite, les parois types sont analysées suivant leur composition et mise en oeuvre, elles sont donc considérées de manière générique sans tenir compte du fait qu'une partie de la paroi soit préexistante et conservée. Pour tenir compte de ce paramètre (conservé ou démoli), un facteur de correction a été proposé. Mais si ce dernier joue clairement en faveur des parois conservées et améliorées plutôt que celles démolies et reconstruites dans le cas du potentiel de prévention, il augmente cependant les potentiels des autres degrés de valorisation pour les solutions démolies/reconstruites puisqu'au potentiel de la paroi type neuve s'ajoute le potentiel de la paroi démolie. Ainsi, avec l'application du facteur de correction, les solutions de parois démolies et reconstruites présentent un potentiel de valorisation généralement plus important que les parois conservées en ce qui concerne le réemploi, le recyclage, le compostage et l'incinération, alors qu'elles sont clairement les moins favorables en matière de bilans environnementaux (exception faite de l'indicateur gaz à effet de serre pour certaines parois neuves). La dérive que peut avoir ce type de résultats, s'ils sont considérés indépendamment de l'écobilan, est l'interprétation en faveur d'une démolition reconstruction plutôt qu'une conservation de la matière. Sans facteur de correction par contre, les tendances varient d'une composante à une autre, mais oscillent en général entre la solution de conservation (indiquée *P.exist+* ou *P.exist++*) et la deuxième solution de paroi type neuve (indiquée *P.neuf*). Cette dernière présente également dans certains cas un bilan plus favorable en matière de gaz à effet de serre, dans les cas où elle comporte des éléments en bois.

Afin de recontextualiser l'évaluation de la *valorisabilité*, relativement théorique, nous avons entrepris de comparer le potentiel estimé à la valorisation effective des fractions actuellement conduites. Cette approche nous permet également d'identi-

de 'bouclage'. En effet, de notre point de vue, bien que ces termes se rejoignent en grande partie, le bouclage reprend l'idée d'une réintroduction dans un cycle, ce que proposent aussi bien le réemploi (nouveau cycle de vie), le recyclage (nouveau cycle de fabrication) ou la valorisation organique, que le bouclage ne différencie pas. En dehors de ces trois types de valorisation, il existe également un potentiel de valorisation énergétique qui ne semble pas repris dans l'idée de bouclage. Or, à l'heure actuelle, cette solution de valorisation est encore couramment usitée afin d'éliminer la mise en décharge. La notion de 'valorisation maximale' permet de considérer ce type de valorisation également..

fier les éventuelles opportunités d'optimisation par fractions et par type de valorisation envisagé (réemploi ou recyclage). Pour la majorité des composantes existantes, un réel potentiel d'optimisation a été identifié souvent du recyclage vers le réemploi (exemples: briques pleines, tuiles terre-cuite, éléments en bois plein...). Dans d'autres cas par contre (surtout pour les parois types projetées), il existe un écart entre valorisation effective et potentiel de valorisation théorique dont les opportunités réelles d'optimisation semblent parfois difficiles à atteindre. Pour comprendre cette situation, nous avons donc abordé les différents freins et contraintes pouvant être rencontrés dans cet objectif de valorisation optimale, de même que nous avons envisagé certains outils existants comme d'éventuels leviers d'action. Nous avons ainsi pu identifier que les contraintes sont nombreuses, mais qu'elles trouvent en partie réponse dans la responsabilisation de différents acteurs et dans un cadre réglementaire adapté. L'optimisation du système actuel est envisageable (dans certains cas de figure), mais en ce qui concerne la valorisation future, elle dépendra de nombreux facteurs dont certains présentent un caractère imprévisible. Le choix initial du matériau et de sa mise en oeuvre[13] est particulièrement déterminant au niveau du potentiel théorique, cependant la valorisation effective future de ces matières est à l'heure actuelle difficile à déterminer.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES FUTURES

Dans ce travail, nous nous sommes d'abord « nourris » de théories diverses que nous avons interprétées avec notre regard d'architecte. Nous avons voulu confronter cette vision aux objectifs et contexte spécifiques à Bruxelles, plus particulièrement en ce qui concerne la nécessité de rénovation du parc résidentiel ancien et énergivore. C'est ainsi que nous avons défini les bâtiments exemplaires comme étude de cas « idéal »[14]. Tout au long de ce travail, nous avons à la fois poursuivi l'atteinte de cette idée de bouclage initiée en première partie et nous avons voulu questionner la rénovation durable actuellement encouragée dans sa relation à la valeur de la matière. Ce que nous pensons être des interventions « exemplaires » de rénovation le sont-elles effectivement concernant la problématique ressource et déchet?

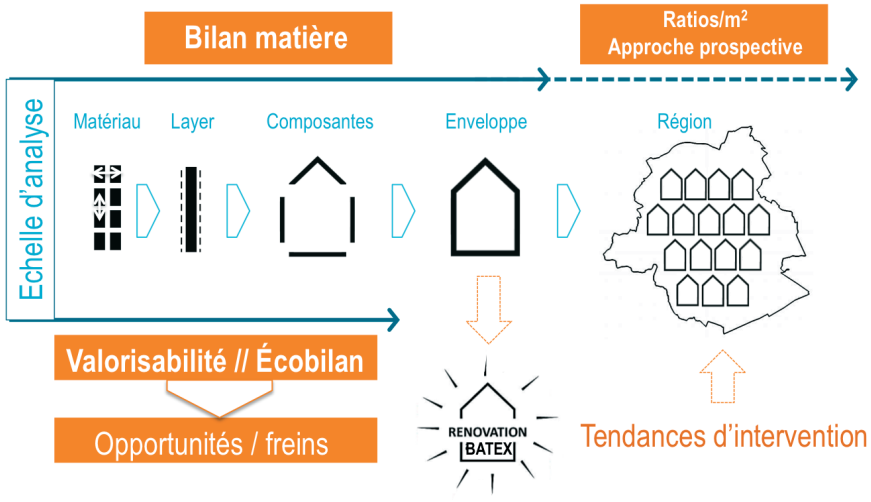
Par rapport à l'objectif de bouclage initialement formulé, nous avons effectué quelques ajustements. C'est pourquoi plutôt que de parler directement de *bou-*

13 - Concernant l'influence du choix des matériaux et modes constructifs, nous avons souhaité proposer une solution de paroi alternative pour la façade conservée améliorée (c'est-à-dire non rencontrée dans les projets analysés en partie 3) afin de démontrer qu'il est possible de remplacer certains matériaux identifiés comme difficiles (ou impossibles) à valoriser par d'autres plus valorisables. Ainsi, nous avons remplacé le plafonnage par un enduit à l'argile entièrement réemployable, et le système ETICS par un système de structure bois insufflée de cellulose et finition bardage entièrement démontable.

14 - « idéal » non pas en termes de représentativité numérique puisque ce type de rénovation ne constitue pas la majorité des rénovations actuelles, mais « idéal » en matière d'objectif énergétique et durable poursuivi par la région.

clage, nous avons préféré une approche plus progressive et ouverte à différentes possibilités, plus adaptées au système actuel. Nous avons donc parlé de *valorisation optimisée* ou *maximale* (suivant la hiérarchie d'action) pour des raisons de définition que nous avons abordées précédemment. Ensuite, nous considérons ce travail comme faisant partie des prémices d'un changement global de système, nécessaire et indispensable au regard des enjeux environnementaux actuels, mais qui risque néanmoins de prendre beaucoup de temps si l'urgence ne nous pousse pas à agir. Il s'agit donc d'une ébauche, d'une proposition permettant d'encourager à son échelle ce changement vers une meilleure gestion et utilisation de nos ressources matérielles locales. Nous parlons donc d'optimisation des ressources, de réduction voire d'élimination des déchets, de relocalisation, etc. Nous sommes convaincus qu'une meilleure connaissance des gisements matériels combinée à une planification adaptée et intégrée permettrait à la région de tendre vers une gestion optimisée de ses ressources et déchets concernant le secteur de la construction (mais aussi tout autre secteur). Cette approche est d'autant plus importante que les milieux urbains, comme Bruxelles, sont fortement dépendants en ce qui concerne leur approvisionnement et le traitement de leur déchet (externalisation). Les incertitudes liées à la finitude des ressources et la sécurité de leur approvisionnement devraient pousser chaque région, ville, pays à reconsidérer leurs richesses locales. Dans ce cadre, cette recherche tente d'apporter, à son échelle, quelques éléments de réponse et pistes de réflexion. La figure ci-après illustre l'approche proposée par la présente thèse face aux différentes échelles considérées. Chacune de ses échelles étant liée à un ou plusieurs acteurs particuliers (du fabricant de matériaux, à l'architecte jusqu'à l'urbaniste ou le planificateur...)

Figure 5.1: Approche proposée (*Bottom-up)* et échelles considérées



À l'avenir, il nous apparaît donc essentiel de poursuivre cette démarche vers une meilleure connaissance des gisements et flux de matières, contenus et engendrés par le secteur immobilier, à travers la réalisation de recherches et d'études. Actuellement, au moins deux projets financés par l'Europe et la RBC semblent poursuivre ce travail. Le premier projet, concerne un projet FEDER qui est mené par l'UCL (Architecture et Climat) en partenariat avec la VUB, le CSTC et ROTOR. Le sujet traite du *Bâti Bruxellois comme Source de nouveaux Matériaux* (BBSM) sous différents angles de vue (gisement, filières dont réemploi, aspects techniques et législatifs, détails...). Son commencement est prévu pour la fin de l'année 2015. Le second projet s'inscrit dans l'appel à projets de la Commission Européenne H2020, il est mené par Bruxelles Environnement avec l'aide de 15 partenaires européens. Le projet, appelé BAMB pour *Building As Material Bank* a pour objectif de développer, entre autres, des passeports matériaux, des protocoles décisionnels et de nouveaux business modèles. Le projet vient de débuter en septembre 2015. Ces deux projets apparaissent relativement complémentaires, le premier traitant principalement du gisement existant et de sa valorisation, le second traitant plutôt de nouveaux matériaux, et semblent en quelque sorte poursuivre la démarche ici initiée.

Une autre perspective que nous pensons être particulièrement utile est d'encourager la réalisation de projets pilotes ou innovants en matière de valorisation, récupération[15], démontabilité et réversibilité ou même de gestion intégrée, à l'instar de l'appel à projet Batiments Exemplaires. En effet, cet appel à projet a eu un impact considérable sur le lancement du marché du passif en région bruxelloise qui se poursuit actuellement par une progressivité des exigences sur la performance énergétique des bâtiments. L'encouragement de tels projets doit également pouvoir se faire parallèlement et complémentairement à l'encouragement de la rénovation énergétique du parc bâti. Il s'agit selon nous d'un bon moyen de lancer un marché, certes réduit, mais sans contraintes et obligations trop importantes. Cette démarche permet en outre une adaptation des réglementations éventuellement produites sur base d'un retour d'expérience des projets déjà réalisés. Une autre piste tout aussi importante que les appels à projets pour enclencher un changement de pratiques concerne le développement à différents niveaux de campagnes de sensibilisation, d'information et de formation des différents acteurs, et d'encourager les rencontres et le dialogue entre ces derniers (groupes de travail, mise en situation...)

Parallèlement, il est important d'encourager le développement de nouvelles techniques de tri et prétraitement en vue du recyclage et du réemploi, ainsi que d'encourager les recherches quant à l'augmentation du taux de matières recyclées dans la fabrication des produits, comme c'est le cas dans le projet IRCOW (voir partie 2). Le cadre législatif peut constituer dans certains cas un obstacle à ces nouvelles pra-

15 - Notons que dans le cas de l'Alliance Emploi Environnement et plus particulièrement dans le projet "Activation des filières" et "guide du réemploi" abordés en partie 2, plusieurs projets pilotes concernant la valorisation par le réemploi ont été répertoriés et suivis.

tiques, il est donc essentiel que les réglementations évoluent en fonction des avancées techniques, technologiques et de pratique. En outre, la législation peut être aussi vue comme une opportunité pour permettre une valorisation plus optimale des matières, mais aussi pour mettre en place un cadre incitatif encourageant la récupération en vue du réemploi ou des pratiques nouvelles en matière de conception, et de pratiques de tri. L'exploitation et l'adaptation des outils existants peuvent constituer en ce sens un bon point de départ.

Enfin, nous en avons peu parlé, mais la problématique du déchet et sous-entendu sa valorisation comme ressource est un phénomène à la fois sociétal et culturel. La manière dont est appréhendé le déchet dépend en effet de facteurs personnels et ontogéniques influencés par la culture et la société dans laquelle les individus évoluent. Il existe à l'heure actuelle chez de nombreuses personnes une barrière psychologique à l'utilisation de déchets comme ressource. Prenons l'exemple des toilettes sèches, certes non directement lié au secteur de la construction, mais néanmoins représentatif: la réutilisation des excrétas humains comme « terreau » pour la culture maraîchère ou pour son propre potager constitue une étape psychologique particulièrement difficile à franchir pour de nombreuses personnes (due en grande partie à la considération des excrétas comme sales, immondes, répugnants, impropres, etc.). Or, le fumier (excréta animal) est bien répandu sur les cultures agricoles à la base de notre alimentation. Cet épandage de fumier ne semble pourtant pas gêner la population quand elle achète les produits en supermarché. Le problème proviendrait donc du lien directement établi entre excréta et aliment dans le cas d'une gestion individuelle de toilette sèche par exemple, alors que dans le cas de l'épandage, le lien du fumier à l'assiette ne se fait pas instinctivement. Faudrait-il donc « cacher » le traitement et la gestion des déchets avant leur mise sur le marché de manière standardisée? Dans le cas des matériaux de construction, certains clients ont du mal à « payer » un matériau usagé. D'ailleurs, si c'est pour payer, autant acheter du neuf, du beau, du blinquant, du lisse sans imperfections... En outre, des objets de réemploi présents dans un enchevêtrement d'autres objets (au marché aux puces par exemple) ou présentés comme pourraient l'être de nouveaux produits, dans une vitrine ou bien nettoyés et « mis en scène » n'auront pas le même potentiel de revente [GHYOOT, 2014]. Le premier acteur de changement est le citoyen. Si ce dernier n'est pas sensibilisé à la problématique du déchet et de sa valorisation, le changement risque d'être plus long et difficile. C'est pourquoi nous pensons qu'il serait opportun d'explorer la question de l'impact comportemental et sociétal sur la gestion des déchets, mais également de réfléchir à la place que prennent ces derniers et à leur « statut » dans notre système social et économique actuel.

Enfin, lorsque nous parlons de gisement matériel existant dans cette recherche, nous parlons d'une comptabilisation de matières. Or, le parc immobilier bruxellois n'est pas qu'une somme de matière, il représente une histoire, il est le témoin de pratiques artisanales aujourd'hui disparues, il se compose de matériaux nobles et anciens...

Pour toutes ces raisons, les matières existantes comportent de manière intrinsèque une « valeur » que ne possèdent pas les matériaux neufs mis sur le marché. De plus, cette « valeur » n'est pas uniforme entre les matériaux anciens, elle varie en fonction de leur mise en oeuvre initiale, du degré d'utilisation et donc d'usure, du type d'exposition propre à chaque bâtiment qui les contient. Chaque matériau existant mis en oeuvre possède donc un caractère unique. Cette unicité est difficilement évaluable à grande échelle puisqu'elle varie d'un cas à l'autre. Dans cette recherche, nous avons considéré la « valeur » du matériau existant pour ce qu'il a coûté initialement à sa fabrication au niveau environnemental (énergie, ressources, pollutions...) et pour ce qu'il pourrait représenter en termes de « ressource » ultérieure. Cependant, nous pensons qu'il serait utile de se pencher sur la question de la valeur historique, patrimoniale et esthétique de ces matériaux. Cela pourrait être envisagé sous la forme d'un inventaire par typologie constructive[16] ainsi que par l'établissement d'une grille d'évaluation qualitative conférant à l'objet une « cote » ou un degré de valeur devant influencer le traitement réservé à ces matières (nécessité de conservation, de réemploi, de recyclage ou d'autres valorisations).

Figure 5.2: Éliminons la notion de déchet...



16 - Le projet B3Retrotool préalablement cité traite en partie de ces questions

BIBLIOGRAPHIE

[ADOUE, 2007] ADOUE C., *Mettre en oeuvre l'écologie industrielle*, Presses polytechniques et universitaires romandes-Développement Durable, coll. Science et Ingénierie de l'Environnement, Italie, 2007, 106p

[ALDANA, 2012] ALDANA J., SERPELL A., *Temas y tendencias sobre residuos de construcciòn y demoliciòn : un meta-anàlisis*, Revista de la Construcciòn, volume 12 n°22, 2012, 16p

[ALLACKER, 2009] ALLACKER K., *Sustainable Building: The development of a evaluation method*, Thèse de doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee, Belgique, 2009, 418p

[AMORCE, 2011] AMORCE, *Guide de bonnes pratiques: Les déchets du bricolage et du bâtiment*, Série technique DT36, AMORCE, Lyon, France, mars 2011, 52p.
Guide disponible sur : <www.amorce.asso.fr>

[APPRICOD, 2006] ASSESSING THE POTENTIAL OF PLASTIC RECYCLING IN THE CONSTRUCTION AND DEMOLITION ACTIVITIES, *Guide: Pour une gestion durable des déchets plastiques de construction et de démolition en Europe*, Guide projet LIFE, IBGE-BIM Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, Bruxelles, Belgique, 2006, 72p

[ATHANASSIADIS, 2012] ATHANASSADIS A., *Cycling urban material flows : using waste as resources – Lessons from Brussels, Vienna, Copenhagen & Madrid*, Master thesis, UNICA Euromaster in Urban Cities 4Cities, Bruxelles, Belgique, septembre 2012, 110p

[ATHANASSIADIS, 2014] ATHANASSADIS A., EVRARD A., GALAN A, TRACHTE S., BOUILLARD P., DE HERDE A., *Assessing the energy use of the pre-war residential building stock of Brussels Capital Region at a neighbourhood scale*, World SB14 Barcelona (Barcelona, du 28/10/2014 au 30/10/14). In: WSB 2014 Conference Documentation, Spain, 2014.

[BARLES, 2005] BARLES S., *L'invention des déchets urbains : France 1790-1970*, Champ Vallon, collection milieux, Seyssel, France, 2005, 297p

[BARLES, 2007] BARLES S., *Mesurer la performance écologique des villes et des territoires : Le métabolisme de Paris et de l'Ile-de-France*, Rapport de recherche final pour le compte de la ville de Paris, Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR, CNRS et Université de Paris8, Paris, France, janvier 2007, 98p

[BILLEN, 1983] BILLEN G., TOUSSAINT F., PEETERS P., SAPIR M., STEENHOUT A., VANDERBORGHT J-P., *L'écosystème Belgique : Essai d'écologie industrielle*, Centre de Recherche et d'Information Socio-Politique, Bruxelles, Belgique, 1983, 163p

[BPIE, 2011] BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE, *Europe's Buildings under the Microscope : A country-by-country review of the energy performance of buildings*, Buildings Performance Europe, Bruxelles, Belgique, 2011, 130p

[BRAND, 1994] BRAND S., *How buildings learn, What happens after they're built*, Penguin Books, USA, 1994, 243p

[BRAUNGART, 2011] BRAUNGART M., MCDONOUGH W., *Cradle to Cradle, créer et recycler à l'infini*, Alternatives Manifestô, Paris, France, 2011, 230p

[BREELS, 2005] BREELS S., *Les déchets dans le secteur de la construction, enjeux de la conception architecturale : proposition d'étude pour la réduction de la production des déchets en phase de rénovation*, Travail de Maîtrise dans le cadre du Master of Advanced Studies en Architecture et Développement Durable, EPFL/Architecture et Climat UCL/École d'Architecture de Toulouse GRECO/Universitat Politecnica de Catalunya Barcelone/ Université Laval de Québec/Politecnico di Milano, Lausanne, Suisse, 2005, 134p

[BRU, 2011] BRUXELLES ENVIRONNEMENT, *Bruxelles, de l'éco-bâtiment à la ville durable*, Brochure, BRU Ville Durable, Bruxelles, Belgique, 2010, 39p

[CERAA, 2008] CENTRE D'ÉTUDE, DE RECHERCHE ET D'ACTION EN ARCHITECTURE, *L'application de principes de la maison passive en Région de Bruxelles-Capitale*, Rapport final pour B.Cerexhe ministre de l'Économie et de l'Emploi et E.Huytebroeck ministre de l'environnement et de l'énergie, subventionné par l'IRSIB et l'IBGE-BIM, Bruxelles, Belgique, juin 2008, 146p

[COURARD, 2006] COURARD L., *Le cycle de vie des matières : les matériaux de construction et de démolition*, Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 de l'état de l'environnement wallon, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE), Ministère de la Région wallonne, Belgique, juin 2006, 35p (http://environnement.wallonie.be/eew/)

[DARBELLAY, 2008] DARBELLAY F., PAULSEN T., *Le défi de l'inter- et transdisciplinarité: concepts, méthodes et pratiques innovantes dans l'enseignement et la recherche*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 2008, 311p

[DEBACKER, 2008] DEBACKER W., *Design and environmental load assessment of multi-use construction kits for temporary applications based on 4Dimensional Design*, Thèse de doctorat, Vrije Universiteit Brussel, Bruxelles, Belgique, 2008

[DESSOUROUX, 2008] DESSOUROUX C., *Espaces partagés, espaces disputés : Bruxelles, une capitale et ses habitants*, Université Libre de Bruxelles (CIRHIBRU) & Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale (Direction Études et Planification, AATL), Bruxelles, Belgique, 2008, 156p

[DIAMOND , 2006] DIAMOND J., *Effondrement*, Gallimard, collection Folio Essais, Paris, France, 2006, 869p

[DURMISEVIC, 2006] DURMISEVIC E., Transformable Building Stuctures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction, thèse de doctorat, Technische Universiteit Delft, Delft, Pays-Bas, 2006, 305p

[DUVIGNEAUD, 1975] DUVIGNEAUD P., HAVELANGE P., DENAEYER-DE SMET S., *L'écosystème urbain: Application à l'Agglomération bruxelloise, L'écosystème Bruxelles*, agglom.Bruxelles, Bruxelles, Belgique, 1975.

[EEA, 2010] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, *The European Environment, State and outlook 2010: Material Resources and Waste*, EEA-SOER 2010, Copenhagen, Danemark, 2010, 46p

[ERKMAN, 1998] ERKMAN S., *Vers une écologie industrielle*, Charles Leopold Mayer, Paris, France, 1998, 147p

[ERKMAN, 2004] ERKMAN S., *Vers une écologie industrielle* (2ème édition), Charles Leopold Mayer, Paris, France, 2004, 256p

[ESSEX J.] ESSEX J., KAY T., *Pushing reuse : Towards a low-carbon construction industry*, rapport, BioRegional Solutions for Sustainability, Wallington, UK, 36p.
Rapport disponible sur: <www.bioregional.com>

[FLEMING, 2009] FLEMMING D., *Design for Deconstruction*, Graduate School of the University of Cincinnati, Cincinnati, USA, 2009, 61p

[GHYOOT, 2014] GHYOOT M., *Le concepteur et les matériaux de construction: Éléments de réflexion pour une reconfiguration des circuits de l'économie matérielle par les pratiques architecturales contemporaines*, thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles (La Cambre-Horta), Bruxelles, Belgique, 2014, 321p

[GORGOLEWSKI, 2008] GORGOLEWSKI M., *Designing with reused building components : some challenges*, research paper, Building Research & Information (BRI), Routledge – Taylor & Francis Group, 36(2), 28 mai 2008, 175-188p

[HANNEQUART, 2007] HANNEQUART J-P., *Gestion des déchets*, Syllabus du cours, Université Libre de Bruxelles (ULB), Bruxelles, Belgique, 2007, 63p

[HIETE, 2011] HIETE M., STENGEL J., LUDWIG J., SCHULTMANN F., *Matching construction and demolition waste supply to recycling demand : a regional management chain model*, research paper, Building Research & Information (BRI), Routledge – Taylor & Francis Group, 39(4), 30 juin 2011, 333-351p (http://www.tandonline.com)

[HUYGEN, 2008] HUYGEN J-M., *La poubelle et l'architecte: vers le réemploi des matériaux*, Actes Sud, Arles, France, 2008, 184p

[IBGE, 2006] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *Estimation des quantités de déchets non ménagers générés et traités à Bruxelles*, Étude réalisée par RDC Environnement, février 2006, Bruxelles, Belgique, 72p

[IBGE, 2008] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *Rapport sur l'état de l'environnement bruxellois 2006: volet 3 – déchets*, Bruxelles Environnement IBGE-BIM, janvier 2008, Bruxelles, Belgique, 66p

[IBGE, 2009] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *Guide de gestion des déchets de construction et démolition*, 3e édition du guide réalisé pour les gestionnaires de déchets de construction, Bruxelles Environnement IBGE-BIM, décembre 2009, Bruxelles, Belgique, 82p

[IBGE, 2010_A] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *Plan déchets : Plan de prévention et de gestion des déchets*, IBGE-BIM, Bruxelles, Belgique, mai 2010, 71p. Disponible sur : <www.bruxellesenvironnement.be>

[IBGE, 2010$_B$] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *Prendre en compte le cycle des bâtiments et leurs composantes : Envisager le bâtiment comme un élément évoluant dans le temps, avec différentes vies fonctionnelles et matérielles*, Guide Pratique pour la Construction et la Rénovation Durable de Petits Bâtiments, Info-fiche, Recommandation Pratique MAT13, IBGE-BIM, Bruxelles, Belgique, juillet 2010, 14p. Info-fiche disponible sur : <www.bruxellesenvironnement.be>

[IBGE, 2010$_C$] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *Eco-construction - Formation 2010: Gestion des déchets de construction et démolition: Mémento*, Centre Urbain et Rotor asbls pour le compte de Bruxelles Environnement, IBGE-BIM, Bruxelles, Belgique, 2010, 32p. Disponible sur : <www.bruxellesenvironnement.be>

[IBGE, 2011] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *La gestion des déchets du secteur de la construction*, Rapport technique Bâtiments exemplaires, fiche 4.3, IBGE-BIM, Bruxelles, Belgique, février 2011, 33p. Fiche disponible sur : <www.bruxellesenvironnement.be>

[IBGE, 2012] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *Étude sur l'analyse du gisement, des flux et des pratiques de prévention et de gestion des déchets de construction et de démolition en Région de Bruxelles-Capitale*, Étude réalisée par le Ceraa asbl et Rotor asbl pour le compte de l'IBGE-BIM, version publique, Bruxelles, Belgique, mai 2012, 206p

[ICEB, 2012] INSTITUT POUR LA CONCEPTION ÉCORESPONSABLE DU BÂTI, *L'énergie grise des matériaux et des ouvrages*, Les Guides Bio-Tech, ARENE (Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Énergies) Ile-de-France, France, novembre 2012, 130p

[JRC, 2008] NEMRY F., UIHLEIN A., MAKISHI COLODEL C., WITTSTOCK B., BRAUNE A., WETZEL C., HASAN I., NIEMEIER S., FRECH Y., KREIBIG J., GALLON N., *Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)*, JRC Scientific and Technical Reports, European Commission - Joint Research Centre (JRC) - Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Luxembourg, 2008, 76p

[KOHLBRENNER, 2014] KOHLBRENNER A., *De l'engrais au déchet, des campagnes à la rivière: une histoire de Bruxelles et de ses excréments*, Brussels Studies, N°78, 23 juin 2014, Bruxelles, Belgique, 13p.

[LEMAIRE, 2006] LEMAIRE S., *Aide au choix des produits de construction sur la base de leurs performances environnementales et sanitaires*, Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, France, 2006, 206p

[MARCO, 2004] MANAGEMENT DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX DANS LES MÉTIERS DE LA CONSTRUCTION, Outils et Guide disponibles sur : http://www.marco-construction.be/

[MASSARD, 2011] MASSARD G., *Les symbioses industrielles : une nouvelle stratégie pour l'amélioration de l'utilisation des ressources matérielles et énergétiques par les activités économiques*, Thèse de doctorat, Université de Lausanne (UNIL), Lausanne, Suisse, 2011, 372p

[MASSART, 2014] MASSART C., DE HERDE A., *SUD - Sustainable Urban Design: Réflexion sur les réponses architecturales aux enjeux du développement durable dans le cadre d'une étude préliminaire pour la rénovation et la densification d'une parcelle de logements à Louvain-la-Neuve*, étude réalisée par Architecture et Climat (UCL) pour la Région Wallonne, Louvain-la-Neuve, Belgique, 2014, 170p

[MLECNIK, 2010] MLECNIK E. ET AL., DE HERDE A. ET AL., VANDAELE L. ET AL., *Low Energy Housing Retrofit (LEHR)*, Rapport final, Belgian Science Policy (Programme to stimulate knowledge transfer in areas of strategic importance-TAP2), Bruxelles, Belgique, 2010, 106p

[NORDBY, 2009a] NORDBY A.S., BERGE B., HAKONSEN F., HESTNES A.G., *Criteria for salvageability : the reuse of bricks*, research paper, Building Research & Information (BRI), Routledge – Taylor & Francis Group, 37(1), 9 janvier 2009, 55-67p (http://www.tandonline.com)

[NORDBY, 2009b] NORDBY A.S., *Salvageability of building materials: Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling*, thèse de doctorat, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norvège, avril 2009, 198p.

[OVAM, 2011_A] OPENBARE VLAAMSE AFVALSTOFFENMAATSCHAPPIJ, *Bepalingsmethode Milieugerelateerde Materiaalprestatie van Gebouwelementen (MMG)*, rapport novembre 2011, Mechelen, Belgique, 33p

[OVAM, 2011_B] OPENBARE VLAAMSE AFVALSTOFFENMAATSCHAPPIJ, *Sustainable building, material and Cradle to Cradle*. A survey of current project practices, OVAM, juin 2011, Mechelen, Belgique, 84p

[OVAM, 2012] OPENBARE VLAAMSE AFVALSTOFFENMAATSCHAPPIJ, VITO, KULEUVEN, ET LE WTCB, *Milieugerelateerde Materiaalprestatie van Gebouwelementen (MMG)*, OVAM, septembre 2012, Mechelen, Belgique, 359p

[OVAM, 2013] OPENBARE VLAAMSE AFVALSTOFFENMAATSCHAPPIJ, VITO, KULEUVEN, WTCB, *Vertaling van de MMG: output naar beleidstoepassingen in het kader van specifieke gebruikersdoelgroepen*, OVAM, septembre 2013, Mechelen, Belgique, 125p

[PADUART, 2012] PADUART A., *Re-design for change : a 4 dimensional renovation approach towards a dynamic and sustainable building stock*, Thèse de doctorat, Vrije Universiteit Brussel (VUB), VUBPRESS, Bruxelles, Belgique, avril 2012, 380p

[PITRE, 2008] PITRE M., *Gestion intégrée des matières résiduelles provenant de l'industrie de la construction de bâtiments*, Mémoire de Maîtrise, École de Technologie Supérieure Université du Québec, Montréal, Canada, 2008, 216p

[QUEVRIN, 2012] QUEVRIN B., et al., *Les ponts thermiques: un vrai challenge*, Comprendre et Appliquer, Plateforme Maison Passive, Namur, Belgique, 2012, 160p.

[REVUEDURABLE, 2007] LA REVUE DURABLE, *L'écologie industrielle ramène l'économie aux limites de la Terre*, bimestriel, Juin-Juillet 2007, n°25, Cerin Sàrl, Fribourg, Suisse

[SASSI, 2008] SASSI P., *Designing Buildings to close the material resource loop*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability 157, Issue ES3, septembre 2004, p. 163-171

[SERI, 2009] SUSTAINABLE EUROPE RESEARCH INSTITUTE, GLOBAL 2000, FRIENDS OF THE EARTH EUROPE, *Overconsumption? Our use of the world's natural resources*, Vienne, septembre 2009, 35p, rapport téléchargeable sur: www.seri.at

[SSD, 2011] ALLACKER K., DE TROYER F., TRIGAUX D., GEERKEN T., DEBACKER W., SPIRINCKX C., VAN DESSEL J., JANSSEN A., DELEM L., PUTZEYS K., *Sustainability, Financial and Quality Evaluation of Dwelling Types (SuFiQuaD)*, rapport SD/TA/12, SSD-Science for a Sustainable Development, Transversal Actions, 107p

[TAM, 2007] TAM V.W.Y., TAM C.M., *Waste reduction through incentives : a case study*, research paper, Building Research & Information (BRI), Routledge – Taylor & Francis Group, 36(1), 10 décembre 2007, 37-43p (http://www.tandonline.com)

[THOMSEN, 2011] THOMSEN A., VAN DER FLIER K., *Understanding obsolescence: a conceptual model for buildings*, research paper, Building Research & Information (BRI), Routledge – Taylor & Francis Group, 39(4), 30 juin 2011, 352-362p (http://www.tandonline.com)

[TRACHTE, 2003] TRACHTE S., *Gestion des déchets de chantier: Potentiel d'avenir pour le secteur de la construction en Région de Bruxelles-Capitale*, Travail de Maîtrise dans le cadre du Master of Advanced Studies en Architecture et Développement Durable, Toulouse, France, 2003, 115p

[TRACHTE, 2012] TRACHTE S., *Matériau, matière d'architecture soutenable : Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable*, Thèse de doctorat, Presses Universitaires de Louvain, Université Catholique de Louvain UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique, 2012, 534p

[TRANCHANT, 2004] TRANCHANT C., VASSEUR L., OUATTARA I., VANDERLINDEN J-P., *L'écologie industrielle: une approche écosystémique pour le développement durable*, colloque 'Développement durable: Leçons et perspectives', Ouagadougou, 1er-4 juin 2004

[VAN DEN ABEELE, 2011] VAN DEN ABEELE P., *Cradle to Cradle : une approche d'éco-conception des produits : Analyse critique*, Mémoire de Master, Université Libre de Bruxelles IGEAT, Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, Bruxelles, Belgique, 2011, 151p

[VAN HINTE, 2007] VAN HINTE E., PEEREN C., JONGERT J., *SuperUse : constructing new architecture by shortcutting material flows*, 010 Publishers, Rotterdam, Pays-Bas, 2007, 141p

[VEFAGO, 2011] VEFAGO L-H M., *El concepto de reciclabilidad aplicado a lços materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos*, thèse de doctorat, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelone, Espagne, 2011, 332p

[VEFAGO, 2013] VEFAGO L-H M., AVELLANEDA J., *Recycling concepts and the index of recyclability for building materials*, Resources, Conservation and Recycling Journal, n° 72, 127-135, 2013.

[WRAP, 2008] THE WASTE AND RESOURCES ACTION PROGRAMME, MATERIAL CHANGE FOR A BETTER ENVIRONMENT , *Choosing Construction products: Guide to the recycled content of mainstream construction products*, Reference Guide, GB version 4.1, Oxon, UK, juin 2008, 175p

[WRAP] THE WASTE AND RESOURCES ACTION PROGRAMME, MATERIAL CHANGE FOR A BETTER ENVIRONMENT , *Practical solutions for sustainable construction – Reclaimed building products guide: A guide to procuring reclaimed building products and materials for use in construction project*, Guide écrit par BioRegional, Oxon, UK, 80p. Guide disponible sur: <www.wrap.org.uk/construction>

Liste des sites internet régulièrement consultés:

www.bruxellesenvironnement.be
www.withouthotair.com

Concernant les matériaux et déchets de construction et démolition:
www.acrplus.org
www.environnement-entreprise.be/dechets
www.marco-construction.be
www.cstc.be
www.ovam.be
www.opalis.be
www.etat.environnement.wallonie.be
www.res-sources.be
www.ressourceries.fr
www.ademe.fr
www.bourse-des-dechets.fr
www.bourse-aux-dechets.com
www.abe-bao.be
www.actu-environnement.com
www.ircow.eu
www.recyhouse.be
www.recywall.be
www.tradecowall.be
www.wrap.org.uk
www.bioregional.com
www.etat.geneve.ch
www.euractiv.com
www.projweb.niras.dk/irma/

Concernant l'écologie industrielle:
www.unil.ch
www.ecologie-industrielle.com
www.comethe.org
www.cttei.qc.ca
www.systèmes-durables.com
www.oree.org

Concernant le Cradle to Cradle:
www.mbdc.com
Concernant les données statistiques:
www.economie.fgov.be

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

PARTIE 1:

ACV: Analyse du Cycle de Vie
AFM: Analyse des Flux de Matières
C2C: Cradle to Cradle
DfR: Design for Reuse
DfD: Design for Disassembly
E.I: Ecologie Industrielle
LCA: Life Cycle Analysis
LCC: Life Cycle Costing
MCA: Multi Criteria Analysis
MFA: Mass Flow Analysis
4D: 4Dimensional Design

PARTIE 2:

A: Architecte
BATEX: BAtiments Exemplaires (concours de la Région de Bruxelles-Capitale)
C&D: Construction et Démolition
CET: Centre d'Enfouissement Technique
CRT: Centre de Regroupement et de Tri
DEEE: Dechets d'Equipements Electriques et Electroniques
DIB: Déchets Industriels Banals
DIS: Déchets Industriels Spéciaux
E: Entrepreneur
EPD: Environmental Product Declaration
FDV: Fin De Vie
GD: Gestionnaire de Déchets
GRBC: Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale
I: Ingénieur
MEO: Mise En Oeuvre
MO: Maître d'Ouvrage
P & D: Producteurs et Distributeurs
PEB: Performance Energétique des Bâtiments
RBC: Région de Bruxelles-Capitale
REP: Responsabilité Elargie des Producteurs
RF: Région Flamande
RW: Région Wallone
REP: Responsabilité Elargie des Producteurs
CS&S: Coordinateur Sécurité & Santé
VEO: Vie En Oeuvre
VHU: Véhicule Hors d'Usage

PARTIE 3:

ABE: Agence Bruxelloise de l'Energie
AGRBC: Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale
BATEX: BAtiments Exemplaires (concours de la Région de Bruxelles-Capitale)
BE: Basse Energie
BNC: Besoin Net en Chauffage
BNR: Besoin Net en Refroidissement
C&D: Construction et Démolition
C: Conservation
CEP: Consommation en Energie Primaire
D_c: Démolition complète
D_p: Démolition partielle
EA: Etanchéité à l'Air
ECS: Eau Chaude Sanitaire
EPS: Polystyrène expansé
GES: Gazs à Effets de Serre
GRBC: Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale
IBGE: Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement
IT: Installation Technique
L.coll: Logement collectif
L.ind: Logament individuel
L_e: Layer extérieur
L_i: Layer intérieur
L_{inf}: Layer inférieur
L_s: Layer structurel
L_{sup}: Layer supérieur
NC: Noeuds Constructifs
OPEB: Ordonnance pour la Performance Energétique des Bâtiments
P: Passif
PEB: Performance Energétique des Bâtiments et climat intérieur
PUR: Polyuréthane
S: Surchauffe
TBE: Très Basse Energie
UAN: Unité Assimilée à du Neuf
V: Ventilation
Vp: Volume protégé
XPS: Polystyrène extrudé
2F: 2 Façades
3F: 3 Façades
4F: 4 Façades

PARTIE 4:

EG: Energie Grise
GES: Gaz à Effet de Serre
Q: Quantité de matière
p: poids
v: volume

Dc: dalle sur cave
Dtp: dalle sur terre plein
F: façade
Tp: toiture plate
Tv: toiture à versant

P: prévention
R+: réemploi
R: recyclage
C: compostage
I: incinération

P.exist: paroi existante
P.exist+: paroi existante conservée et améliorée
P.exist++: paroi existante conservée et améliorée (variante)
P.neuf//exist+: paroi existante démolie et reconstruite de façon similaire à P.exist+
P.neuf: paroi existante démolie et reconstruite (autre système constructif)

LISTE DES FIGURES

Figure 0.1	Développement de la thèse sur base des questions énoncées	26
Figure 0.2	Développement de la thèse par parties et chapitres	27
Figure 0.3	Schéma de principe de la thèse (approche cyclique)	27
Figure 1.1	Principe de fonctionnement des symbioses industrielles	36
Figure 1.2	Principe de fonctionnement de l'approche *Cradle to Cradle*	42
Figure 1.3	Illustration de l'approche circulaire du *4Dimensional Design*	49
Figure 1.4	Exemples de design for deconstruction	51
Figure 1.5	Juxtaposition de zones et espaces ou "marges"	52
Figure 2.1	Proposition de définition du déchet	66
Figure 2.2	Hiérarchie d'action	74
Figure 2.3	Classes des déchets et traitements	93
Figure 2.4	Sources de production des déchets de C&D	96
Figure 2.5	Intervention des acteurs selon une approche traditionnelle	99
Figure 2.6	Intervention intégrée des acteurs - approche optimisée	100
Figure 2.7	Etapes et filières des déchets de C&D	107
Figure 2.8	Gradation de stade de tri sur chantier	110
Figure 2.9	Exemple de tri à partir de fraction mélange: extraction inertes	113
Figure 2.10	Centres de tri-regroupement-location conteneurs en RBC	113
Figure 2.11	Chaine de traitement des déchets à l'incinérateur régional	118
Figure 2.12	Politique de taxation pour la mise en décharge	120
Figure 2.13	Cartographie des CET et UVE en Belgique	120
Figure 2.14	Rénovation de l'Athénée Riva Bella (Braine l'Alleud)	122
Figure 2.15	Rénovation des Brasseries Belle-Vue (Bruxelles)	123
Figure 2.16	Harvest Map Rotterdam	124
Figure 2.17	Oogstkaart	125
Figure 2.18	Musée d'histoire de Ningbo (Chine)	126
Figure 3.1	Répartition des surfaces et des consommations totales d'énergie par affectations en RBC	137
Figure 3.2	Répartition des types et nombres de bâtiments résidentiels par année de construction et par secteurs statistiques (2012)	138
Figure 3.3	Estimation de la répartition des consommations énergétiques par secteurs statistiques (2011) et selon 3 facteurs	139
Figure 3.4	Ligne du temps des modifications réglementaires PEB	140
Figure 3.5	Théorie de stratification (BRAND)	145
Figure 3.6	Théorie de hiérarchie de déconstruction au niveau des articulations (FLEMING)	146
Figure 3.7	Proposition de décomposition du bâtiment en systèmes, composantes et layers	147
Figure 3.8	Représentation des différents layers	148
Figure 3.9	Principes d'isolation de l'enveloppe par composantes	150
Figure 3.10	Exemples de possibilités de combinaison d'isolation	151
Figure 3.11	Intervention de démolition sur l'enveloppe	159

Figure 3.12	Intervention de démolition sur les éléments d'esp. intérieur	160
Figure 3.13	Synthèse du type d'intervention d'isolation	161
Figure 3.14	Schéma des 3 phases d'analyse	168
Figure 3.15	Présentation du projet Application (plan, coupe, façade)	175
Figure 3.16	Intervention de rénovation sur toiture à versant	175
Figure 3.17	Intervention de rénovation sur toiture plate	176
Figure 3.18	Démolition de la toiture inclinée (annexe) et n^{elle} toiture plate	176
Figure 3.19	Intervention de rénovation sur façades avant/arrière	177
Figure 3.20	Intervention de rénovation sur mitoyens	177
Figure 3.21	Intervention de rénovation sur dalle de sol sur terre-plein	178
Figure 3.22	Intervention de rénovation sur dalle de sol sur cave	178
Figure 3.23	Poids respectifs des matières avant rénovation [kg]	179
Figure 3.24	Volumes respectifs des matières avant rénovation [m^3]	180
Figure 3.25	Ventilation des matières avant rénovation en [kg] et [m^3]	180
Figure 3.26	Proportion des flux IN-OUT	181
Figure 3.27	Poids respectifs des flux de matières IN-OUT par fraction	181
Figure 3.28	Volumes respectifs des flux de matières IN-OUT par fraction	181
Figure 3.29	Ventilation des flux OUT en [kg] et [m^3]	182
Figure 3.30	Ventilation des flux IN en [kg] et [m^3]	183
Figure 3.31	Poids respectifs des matières après rénovation [kg]	183
Figure 3.32	Volumes respectifs des matières après rénovation [m^3]	184
Figure 3.33	Ventilation des matières après rénovation en [kg] et [m^3]	184
Figure 3.34	Bilan matière global de la rénovation en [kg] et [m^3]	185
Figure 3.35	Bilan matière avant et après rénovation: IN et OUT Δt [kg]	186
Figure 3.36	Représentativité de l'objet d'étude à échelle régionale	189
Figure 3.37	Impact de la rénovation sur les flux de matière en RBC	189
Figure 4.1	Schéma illustrant l'approche dynamique proposée	198
Figure 4.2	Schéma représentant le développement de l'approche	199
Figure 4.3	Synthèse des parois types existantes	200
Figure 4.4	Synthèse des parois types projetées	204
Figure 4.5	Liens et influences entre paramètres d'évaluation	236
Figure 4.6	Points attribués aux différentes propositions	238
Figure 4.7	Comptabilisation selon la proportion des différents matériaux	239
Figure 4.8	Application des critères d'exclusion	240
Figure 4.9	Mode de lecture des graphiques de *valorisabilité*	243
Figure 4.10	Valorisabilité Façade (en volume et en poids)	244
Figure 4.11	Valorisabilité Toiture à versant (en volume et en poids)	252
Figure 4.12	Valorisabilité Toiture plate (en volume et en poids)	259
Figure 4.13	Valorisabilité Dalle sur cave (en volume et en poids)	267
Figure 4.14	Valorisabilité Dalle sur terre plein (en volume et en poids)	274
Figure 4.15	Synthèse de l'évaluation de la *valorisabilité* (en volume)	283
Figure 4.16	Synthèse de l'évaluation de la *valorisabilité* (en poids)	291
Figure 4.17	Mode de lecture des résultats d'écobilan	294

Figure 4.18	Ecobilan Façade (suivant les 3 indicateurs prédéfinis) Ecobilan	297
Figure 4.19	Toiture à versant (suivant les 3 indicateurs)	300
Figure 4.20	Ecobilan Toiture plate (suivant les 3 indicateurs prédéfinis)	304
Figure 4.21	Ecobilan Dalle sur cave (suivant les 3 indicateurs prédéfinis)	307
Figure 4.22	Ecobilan Dalle sur terre-plein selon 2 variantes	309
Figure 4.23	Synthèse des résultats d'écobilan par indicateur et composante	312
Figure 4.24	Synthèse des résultats d'écobilan et de *valorisabilité*	320
Figure 4.25	Schéma illustrant l'approche en 2 temps proposée pour l'identification des opportunités et freins à la valorisation	323
Figure 4.26	Comparaison *valorisabilité* et valorisation effective des parois types existantes	334
Figure 4.27	Comparaison *valorisabilité* et valorisation effective des parois types projetées de la composante façade	352
Figure 5.1	Approche proposée (*Bottom-up)* et échelles considérées	393
Figure 5.2	Éliminons la notion de déchet...	396

Les figures 0.3; 3.7 (en partie); 3.9; 3.10; 3.14; 3.34; 3.37; 4.1 et 5.2 ont été réalisées par Sylvie Rouche (UCL/SST/LOCI) au sein de la cellule de recherche Architecture et Climat

Les figures 3.16; 3.17; 3.18; 3.19; 3.20; 3.21; 3.22 (pour les compositions de parois) et les figures 4.3; 4.4 ont été réalisées par José Flémal (UCL/SST/LOCI) au sein de la cellule de recherche Architecture et Climat

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Tableau comparatif des 3 théories et concepts étudiés	58
Tableau 2.1	Classes des bois et filières de traitement	87
Tableau 2.2	Codes EURAL: déchets de construction et démolition	94
Tableau 2.3	Codes de traitement	95
Tableau 3.1	Résumé des exigences PEB pour les rénovations > 75%	141
Tableau 3.2	Résumé des exigences de valeurs U/R des parois	142
Tableau 3.3	Classement des matériaux isolants	152
Tableau 3.4	Liste des projets BATEX retenus	156
Tableau 3.5	Ratios en poids et volume avant et après rénovation	188
Tableau 4.1	Fractions représentatives des parois types avant rénovation	203
Tableau 4.2	Traitement actuel des fractions (avant rénov.) en fin de vie	203
Tableau 4.3	Fractions représentatives des parois types après rénovation	209
Tableau 4.4	Traitement actuel des fractions (après rénov.) en fin de vie	211
Tableau 4.5	Paramètres repris dans la phase de Fabrication (FAB)	215
Tableau 4.6	Paramètres repris dans la phase de Mise en oeuvre (MEO)	219
Tableau 4.7	Paramètres repris dans la phase de Vie en oeuvre (VEO)	223
Tableau 4.8	Paramètres repris dans la phase de Fin de vie (FDV)	227
Tableau 4.9	Synthèse des paramètres influant sur les 5 degrés de valorisation	235
Tableau 4.10	Potentiel de prévention de la façade: classement des parois	246
Tableau 4.11	Potentiel de réemploi de la façade: classement des parois	247
Tableau 4.12	Potentiel de recyclage de la façade: classement des parois	249
Tableau 4.13	Potentiel de compostage de la façade: classement des parois	250
Tableau 4.14	Potentiel d'incinération de la façade: classement de parois	251
Tableau 4.15	Potentiel de prévention de la toiture à versant: classement des parois	254
Tableau 4.16	Potentiel de réemploi de la toiture à versant: classement des parois	255
Tableau 4.17	Potentiel de réemploi de la toiture à versant: classement des parois	257
Tableau 4.18	Potentiel de compostage de la toiture à versant: classement des parois	258
Tableau 4.19	Potentiel de prévention de la toiture plate: classement des parois	261
Tableau 4.20	Potentiel de réemploi de la toiture plate: classement des parois	262
Tableau 4.21	Potentiel de recyclage de la toiture plate: classement des parois	263
Tableau 4.22	Potentiel de compostage de la toiture plate: classement des parois	264
Tableau 4.23	Potentiel d'incinération de la toiture plate: classement des parois	265

Tableau 4.24	Potentiel de prévention de la dalle sur cave: classement des parois	269
Tableau 4.25	Potentiel de réemploi de la dalle sur cave: classement des parois	270
Tableau 4.26	Potentiel de recyclage de la dalle sur cave: classement des parois	271
Tableau 4.27	Potentiel d'incinération:de la dalle sur cave: classement des parois	272
Tableau 4.28	Potentiel de prévention de la dalle sur terre-plein: classement des parois	276
Tableau 4.29	Potentiel de réemploi de la dalle sur terre-plein: classement des parois	277
Tableau 4.30	Potentiel de recyclage de la dalle sur terre-plein: classement des parois	279
Tableau 4.31	Potentiel de compostage de la dalle sur terre-plein: classement des parois	280
Tableau 4.32	Potentiel d'incinération de la dalle sur terre-plein: classement des parois	281
Tableau 4.33	Composition des parois types: Façade	297
Tableau 4.34	Composition des parois types: Toiture à versant	300
Tableau 4.35	Composition des parois types: Toiture plate	304
Tableau 4.36	Composition des parois types: Dalle sur cave	306
Tableau 4.37	Composition des parois types: Dalle sur terre-plein	309
Tableau 4.38	Opportunités de valorisation des fractions (existantes)	325
Tableau 4.39	Valorisation des fractions existantes vers le réemploi - filières	327
Tableau 4.40	Valorisation des fractions existantes vers le recyclage- filières	332
Tableau 4.41	Opportunités de valorisation des fractions (projetées)	338
Tableau 4.42	Valorisation des fractions projetées vers le réemploi - filières	341

ANNEXES

TABLE DES MATIÈRES

ANNEXES PARTIE 2 **428**

2.1. Fractions de matières considérées **428**
2.2. Coûts de collecte (par fraction de matière) **431**
2.3. Coûts de traitement (par fraction de matière) 432
2.4. Nomenclature des déchets de C&D (construction et démolition) 433
2.5. Législation relative aux déchets de C&D 437

ANNEXES PARTIE 3 **441**

3.1. Fiches de synthèse par projet **441**
3.2. Tendances d'intervention **451**
3.3. Projet Application (plans, coupes, élévations) **455**
3.4. Bilan matière - projet Application **462**
3.4.1. Avant rénovation 462
3.4.2. Pendant rénovation 463
3.4.3. Après rénovation 464

ANNEXES PARTIE 4 **466**

4.1. Parois types: récapitulatif **466**
4.2. Exemple de feuille excel pour l'encodage (évaluation valorisabilité) **469**
4.3. Valorisabilité par paroi: poids / volume **472**
4.4 Valorisabilité // Valorisation effective **483**
4.5. Écobilans **489**
4.6. Valorisabilité // Écobilan: synthèse par composante **501**

ANNEXES PARTIE 2

Sont reprises ici les annexes relatives à la deuxième partie de la thèse "Le déchet". Ces annexes reprennent des informations traitant des différentes fractions de matières considérées, de leur coûts de collecte et de traitement, des codes Eural correspondants, ainsi qu'une synthèse de la législation en vigueur concernant les déchets de construction et démolition.

2.1. FRACTIONS DE MATIÈRE CONSIDÉRÉES

Matériaux à base de bois

Bois massif	Produits dérivés du bois
Bois scié	
Bois de charpente	Panneau bois massif
Construction en bois massif	Panneau bois stratifié
Bois lamellé-collé	Panneau contreplaqué (latté-lamellé)
Poutres collée-croisée	Panneau multiplis
Escalier bois	
Bois fendu	**Bois écorcé - Placage**
Bardeau	Bois contyreplaqué
	Bois lamifié
	Bois de lamelles parallèles
Bois décortiqué	**Bois raboté - laine de bois**
Bois d'oeuvre et d'industrie (bardeau courant/décoratif)	Panneau de laine de bois
	Panneau léger composite à plusieurs couches
	Panneau de particule léger avec habillage en laine de bois
	Bois déchiqueté - sciures
	OSB
	Bois reconstitué (LSL)
	Panneau de particules (lié au ciment, gypse, couche de fibre)
	Panneau de contreplaqué extrudé (plein ou eves structure à tubes)
	Bois défibrés - fibres
	Panneau isolant en fibres de bois
	MDF

	Panneau de fibre-ciment
	Panneau fibres tendres bitumé
	panneau de fibres mi-dur (MBL,MBH) et dur (HB)

Source: [TRACHTE, 2012]

Métaux

	Ferreux	Non-ferreux	
Métaux	Fer	Zinc	Etain
		Cuivre	Titane
		Plomb	Argent
		Aluminium	Or
Alliages	Acier	Bronze	
	Acier inoxydable	Laiton	
	Fonte		

Source: [TRACHTE, 2012]

Verres

Verre coulé	Verre étiré	Verre flotté (plat, à glace)	Verre pressé
Assemblage métallique	Traitement thermique		Briques de verre
verre armé	verre de sécurité trempé ou partiellement trempé		Carreaux de verre
verre de sécurité armé			Tuiles en verre
Traitement de surface			
sablage	sablage		
sérigraphie	sérigraphie		
verre imprimé	traitement à l'acide		
Verre multicouche			
verre de sécurité feuilleté			
vitrage isolant (phonique, thermique) ou sous forme de double ou triple vitrage			

Source: [TRACHTE, 2012]

Plastiques et dérivés

	Thermoplastiques	Thermodurcissables	Élastomères
Types	Polypropylène (PP)	Résine phénolique (PF)	Caoutchouc / caoutchouc butyle (IIR)
	Polyéthylène (PE)	Résine urée (UF)	
	Polychlorure de vinyle (PVC) rigide ou souple	Résine époxy (EP)	Éthylène-propylène monomère (EPDM) ...
	Polyuréthane linéaire (PUR)	Polyuréthane réticulé (PUR) ...	
	Polyéthylène téréphtalate (PET)		
	...		
Applications	Étanchéités (PE)	Revêtement de sol (EP)	Étanchéités (EPDM, IIR) ...
	Châssis (PVC)	Isolants (PUR, PF) ...	
	Tuyauteries (PVC, PE)		
	Isolants (PUR)		
	Bouteilles/contenants (PET)		

Source: [TRACHTE, 2012]

Matériaux isolants

	Organiques	Inorganiques / Minéraux
Naturels	Coton, lin, chanvre	Perlite
	Fibre / Laine de bois	Perlite expansée
	Cellulose	Argile expansée
	Paille	Pierre ponce naturelle
	Laine de mouton	
	Roseau	
Synthétiques	Mousse phénolique	Laine de verre
	Polystyrène expansé (EPS)	Laine de roche
	Polystyrène extrudé (XPS)	Verre cellulaire
	Polyuréthane rigide (PUR)	
	Mousse en résine d'urée-formaldéhyde	

Source: [TRACHTE, 2012]

2.2. COÛTS DE COLLECTE (par fraction)

Les prix indiqués ci-dessous couvrent le service de collecte et d'élimination.

Prix de collecte pour les différentes fractions: en €/conteneur et €/m³

Volumes :	6 à 8 m³	10 à 12 m³	15 à 25 m³	30 à 38 m³
Inertes (classe 3)				
conteneur	165 à 235	150 à 480	350 à 525	-
m³	20	30	12	-
Déchets mélangés (classe 2)				
conteneur	264 à 399	300 à 512	415 à 738	750 à 1027
m³	41	36	30	20
Bois				
conteneur	117 à 215	215 à 278	249 à 486	360 à 694
m³	24	22	18	16
Métaux				
conteneur	160	112	112	112
m³	10	5	3	2
Verre				
conteneur	700	1000	-	-
m³	44	42	-	-
Asphalte-Roofing				
conteneur	625	875	**1050**	**-**
m³	39	36	**26**	**-**
Papiers / cartons				
conteneur	185		104 à 185	
m³	12	9	5	3
Déchets verts				
conteneur	237 à 300	230 à 257	300 à 649	649 à 941
m³	34	19	19	23

Source: Tarifs de l'Agence Régionale pour la propreté
« Bruxelles Propreté » pour l'année 2007 [IBGE, 2009]

2.3. COÛTS DE TRAITEMENT (par fraction)

Pour établir une synthèse du coût engendré par le traitement des déchets de C&D, le guide de gestion des déchets de construction et démolition développé par Bruxelles Environnement à l'intention des gestionnaires de déchets de construction reprend un tableau comparatif des coûts d'élimination des déchets (IBGE, 2009). Ce tableau met en exergue que le coût de la mise en décharge est pour tous les types de fractions en général plus élevé voir beaucoup plus élevé. Certaines fractions comme les métaux représentent en outre un gain économique non négligeable vers les filières de recyclage.

Coûts de traitement des différentes fractions de déchets (€/tonne)

Traitements :	Tri/recyclage	Mise en décharge/ élimination
Inertes		
Béton		
Non armé propre	0	14 à 30
Non armé sale	2,50 à 7	
Armé propre - petit calibre	1,24 à 10	
Armé plus fortement, gros calibre ou autres	11,20 à 17,40	
Maçonnerie		
Débris propres	5,50 à 20	14 à 30
Débris avec autres déchets	9,20 à 20	
Asphalte		
Petit calibre propre	2 à 10	130 à 170
Gros calibre propre	2 à 13	
Asphalte avec terre, sable,...	3,75 à 15	
Autres		
Débris goudronneux	155 à 200	130 à 170
Béton de fibre	70 à 85	
Béton cellulaire	65 à 180	
Plaques de gypse	70 à 150	
Bois		
Classe A	0	14 à 30
Classe B	13 à 30	130 à 170
Classe C	-	-

Traitements :	Tri/recyclage	Mise en décharge/ élimination
Petites palettes	0 à +1	14 à 30
Grandes palettes	0 à +4	
Métaux		
Fer	+120	130 à 170
Aluminium	+1080	
Zinc	+1400	
Inox	+1600	
Plomb	+900	
Cuivre rouge	+3400	
Cuivre jaune	+2100	
Câbles électriques	+1250	
Verre		
Verre plat, simple , propre	+15 à +45	-
Verre plat mélangé (double vitrage, miroir,...)	25 à 75	130 à 170
Matières plastiques		
Films plastiques	0	130 à 170
PVC	0	
Papiers / cartons		
Papiers mêlés	+14,50	130 à 170
Cartons	+17,20	
Déchets verts		
Végétaux	30 à 35	130 à 170
Troncs ou souches	40	

Source: données pour l'année 2007 [BGE, 2009]

2.4. NOMENCLATURE DES DÉCHETS DE C&D

L'harmonisation des références concernant la nomenclature des déchets entre les différents Etats membres permet un meilleur contrôle (production, transport, élimination) et une meilleure traçabilité des flux de déchet entre pays de l'Union Européenne. Cette nomenclature "harmonisée" est également désignée sous le nom de codes EURAL. La liste des déchets y étant reprise reprend près de 1000 types de déchets répartis suivant 20 catégories. Tout déchet y est défini par l'association de 6 chiffres dont les deux premiers correspondent à la catégorie d'origine, les deux chiffres intermédiaires précisent le secteur d'activité dont il est issu, le procédé ou

les détenteurs, les deux derniers chiffres désignent le déchet en tant que tel. L'annotation d'un astérisque (*) permet d'identifier qu'il s'agit d'un déchet dangereux. Les déchets du secteur de la construction et de la démolition (secteur d'activité) correspondent au chiffre 17. Ce nombre sera donc systématiquement référencé comme les deux premiers chiffres pour tous déchets de C&D dont la liste est reprise ci-dessous.

Codes EURAL relatifs aux déchets de construction et démolition

	Code	Dénomination
	17	**DÉCHETS DE CONSTRUCTION ET DE DÉMOLITION (Y COMPRIS DÉBLAIS PROVENANT DE SITES CONTAMINÉS)**
	17 01	**Béton, briques, tuiles, céramiques**
	17 01 01	Béton
	17 01 02	Briques
	17 01 03	Tuiles et céramiques
*	17 01 06	Mélanges ou fractions séparées de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses
	17 01 07	Mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques autres que ceux visés à la rubrique 17 01 06
	17 02	**Bois, verre et matières plastiques**
	17 02 01	Bois
	17 02 02	Verre
	17 02 03	Matières plastiques
*	17 02 04	Bois, verre et matières plastiques contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances
	17 03	**Mélanges bitumineux, goudrons et produits goudronnés**
*	17 03 01	Mélanges bitumineux contenant du goudron
	17 03 02	Mélanges bitumineux autres que ceux visés à la rubrique 17 03 01
*	17 03 03	Goudron et produits goudronnés
	17 04	**Métaux (y compris leurs alliages)**
	17 04 01	Cuivre, bronze, laiton
	17 04 02	Aluminium
	17 04 03	Plomb
	17 04 04	Zinc
	17 04 05	Fer et acier
	17 04 06	Étain
	17 04 07	Métaux en mélange
*	17 04 09	Déchets métalliques contaminés par des substances dangereuses

*	17 04 10	Câbles contenant des hydrocarbures, du goudron ou d'autres substances dangereuses
	17 04 11	Câbles autres que ceux visés à la rubrique 17 04 10
	17 05	**Terres (y compris déblais provenant de sites contaminés), cailloux et boues de dragage)**
*	17 05 03	Terres et cailloux contenant des substances dangereuses
	17 05 04	Terres et cailloux autres que ceux visés à la rubrique 17 05 03
*	17 05 05	Boues de dragage contenant des substances dangereuses
	17 05 06	Boues de dragage autres que celles visés à la rubrique 17 05 05
*	17 05 07	Ballast de voie contenant des substances dangereuses
	17 05 08	Ballast de voie autre que celui visé à la rubrique 17 05 07
	17 06	**Matériaux d'isolation et matériaux de construction contenant de l'amiante**
*	17 06 01	Matériaux d'isolation contenant de l'amiante
*	17 06 03	Autres matériaux d'isolation à base de ou contenant des substances dangereuses
	17 06 04	Matériaux d'isolation autres que ceux visés aux rubriques 17 06 01 et 17 06 03
*	17 06 05	Matériaux de construction contenant de l'amiante
	17 08	**Matériaux de construction à base de gypse**
*	17 08 01	Matériaux de construction à base de gypse contaminés par des substances dangereuses
	17 08 02	Matériaux de construction à base de gypse autres que ceux visés à la rubrique 17 08 01
	17 09	**Autres déchets de construction et démolition**
*	17 09 01	Déchets de construction et de démolition contenant du mercure
*	17 09 02	Déchets de construction et de démolition contenant des PCB (par exemple, mastics, sols à base de résines, double vitrage, condensateurs contenant des PCB)
*	17 09 03	Autres déchets de construction et de démolition (y compris en mélange) contenant des substances dangereuses
	17 09 04	Déchets de construction et de démolition en mélange autres que ceux visés aux rubriques 17 09 01, 17 09 02, 17 09 03

Source: AGRBC du 25 avril 2002

L'arrêté du 25 avril 2002 reprend également la définition de codes de traitement devant être attribués aux déchets en fonction de leur destination. Ces codes de traitement sont repris ci-après.

Codes relatifs aux traitement des déchets

Code	Dénomination
D1	Dépot sur ou dans le sol (exemple: mise en décharge, etc)
D2	Traitement en milieu terrestre (exemple: biodégradation des déchets liquides ou de boues dans les sols, etc)
D3	Injection en profondeur (exemple: injection des déchets pompables dans les puits, des dômes de sel ou des failles géologiques naturelles, etc)
D4	Lagunage (exemple: déversement des déchets liquides ou de boues dans des puits, des étangs, des bassins, etc)
D5	Mise en décharge spécialement aménagée (exemple: placement dans des alvéoles étanches, séparées, recouvertes et isolées les unes des autres et de l'environnement, etc)
D6	Rejets dans le milieu aquatique, sauf l'immersion
D7	Immersion, y compris enfouissement dans le sous-sol marin
D8	Traitement biologique non spécifié ailleurs dans la présente annexe aboutissant à des composés ou à des mélanges qui sont éliminés selon des procédés énumérés à la présente annexe
D9	Traitement physico-chimique non spécifié ailleurs dans la présente annexe aboutissant à des composés ou à des mélanges qui sont éliminés selon des procédés énumérés D1 à D12 (exemple: évaporation, séchage, calcination, etc)
D10	Incinération à terre
D11	Incinération en mer
D12	Stockage permanent (exemple: placement de conteneurs dans une mine, etc)
D13	Regroupement préalable à l'une des opérations numérotées D1 à D12
D14	Reconditionnement préalable à l'une des opérations numérotées D1 à D13
D15	Stockage préalablement à l'une des opérations numérotées D1 à D14 (à l'exclusion du stockage temporaire, avant collecte, sur le site de production)
R1	Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie
R2	Récupération ou régénération des solvants
R3	Recyclage ou récupération des substances organiques qui ne sont pas utilisées comme solvants (y compris les opérations de compostage et autres transformations biologiques)
R4	Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques
R5	Recyclage ou récupération d'autres matières inorganiques
R6	Régénération des acides et des bases
R7	Valorisation des produits servant à capter les polluants
R8	Valorisation des produits provenant des catalyseurs
R9	Régénération ou autreréemplois des huiles

R10	Epandage sur le sol au profit de l'agriculture ou de l'écologie
R11	Utilisation des déchets résiduels obtenus à partir de l'une des opérations numérotées R1 à R10
R12	Echange de déchets en vue de les soumettre à l'une quelconque des opérations visées aux points R1 à R11
R13	Stockage de déchets préalablement à l'une des opérations numérotées R1 à R12 (à l'exclusion du stockage temporaire, avant collecte, sur le site de production)

Source: AGRBC du 25 avril 2002

2.5. LÉGISLATION RELATIVE AUX DÉCHETS DE C&D

Europe

L'énumération des différentes directives européennes traitant des déchets est présentée par ordre chronologique ci-dessous [TRACHTE, 2003] [HANNEQUART, 2007]:

Directives	Objet
Directive 74/439/CEE du Conseil du 16 juin 1975	Collecte et élimination inoffensive des huiles usagées.
Directive 75/442/CEE du Conseil du 15 juillet 1975	Objectifs : harmoniser les législations entre Etats membres en proposant les principes suivants: prévention et réduction, principe du pollueur payeur.
Directive 91/157/CEE du Conseil du 18 mars 1991	Valorisation et élimination contrôlée des piles et accumulateurs usagés contenant des matières dangereuses
Directive 94/31/CE de la Commission du 27 juin 1994	Interdiction de mélanger les déchets dangereux avec d'autres déchets Traçabilité, gestion et élimination contrôlée des déchets dangereux
Directive 94/67/CE du Conseil du 16 décembre 1994	Prévention et réduction des effets de l'incinération des déchets dangereux sur l'environnement et la santé.
Directive 94/62/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 décembre 1994	Gestion des emballages et déchets d'emballage: prévenir et réduire leurs effets sur l'environnement tout en assurant le fonctionnement du marché intérieur.
Décision 97/640/CE du Conseil du 22 septembre 1997: Convention de Bâle	Contrôle des mouvements transfrontaliers des déchets dangereux et leur élimination Réduction des volumes des échanges transfrontaliers
Directive 99/31/CE du Conseil du 26 avril 1999	Contrôle de la mise en décharge: prévention et réduction de leurs effets sur l'environnement par la mise en place d'exigences techniques.

Directive 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000	Contrôle de la mise en centre d'incinération: prévention et réduction de leurs effets sur la santé et relatifs à la pollution de l'air, de l'eau et du sol.
Directive 2002/96/CE du Parlement Européen et du Conseil du 27 janvier 2003	Directivre relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE). Prévention, réutilisation, recyclage et autres formes de valorisation. Amélioration des performances environnementales de tous les opérateurs concernés au cours du cycles de vie des DEEE (fabricants, distributeurs, consommateurs, traitement des déchets).
Directive 2006/66/CE du Parlement Européen et du Conseil du 6 septembre 2006	Abrogeant la directive 91/157/CEE relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et accumulateurs Règles de mises sur le marché: toute substance dangereuse étant interdite Règles spécifiques pour la collecte, le traitement, le recyclage et l'élimination
Directive Cadre 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008	Hiérarchie d'action à 5 niveaux: prévention, préparation en vue du réemploi, recyclage, autre valorisation (valorisation énergétique), élimination. Encouragement d'un système de collecte séparée pour un certain nombre de flux (papier, verre, métaux, plastiques,…) Objectifs chiffrés en matière de recyclage : 50% pour les déchets municipaux et 70% pour les déchets de construction et démolition Renforcement de la prévention Responsabilité élargie des producteurs Exigences spécifiques pour les huiles et déchets dangereux.

Source: [TRACHTE, 2003] [HANNEQUART, 2007]

Région de Bruxelles-Capitale

L'énumération de la transposition des directives européennes en ordonnances et arrêtés au niveau régional est présentée par ordre chronologique ci-après [TRACHTE, 2003] [HANNEQUART, 2007]:

Ordonnances / Arrêtés	Objet
Ordonnance du 7 mars 1991	Dispositions prises pour la prévention et la réduction des déchets en RBC Ordre de priorité d'action: prévention à la source, réduction et élimination de leur nocivité pour l'environnement, valorisation, élimination Responsabilité du détenteur des déchets pour leur élimination sans nuisances pour la santé et l'environnement: les déchets doivent être déposés aux emplacements autorisés dans le respect des réglementations. Interdiction de procéder à la combustion à l'air libre ou comme combustible de chauffage des déchets de toute nature, à l'exception des déchets végétaux.
Ordonnance du 18 mai 2000	Responsabilité étendue des producteurs: reprise obligatoire, collecte, valorisation ou élimination (papier et cartons, véhicules, pneus, DEEE)
Arrêtés du 19 septembre 1991	Obligation de remise des déchets dangereux à un éliminateur agréé par le Ministre de l'Environnement Interdiction de mélange des huiles usagées, d'écoulement ou de combustion de ces dernières
Arrêté du 17 juin 1993	Obligation de faire appel à une collecteur agréé pour la collecte des piles et accumulateurs
Arrêté du 14 octobre 1993	Obligation de sous-traiter à une société agréée les travaux d'enlèvement et d'élimination d'amiante.
Arrêtés du 16 mars 1995	Toute entreprise de C&D a l'obligation d'assurer le recyclage de la fraction pierreuse et sableuse de ses déchets. L'obligation de recyclage est donc à charge de l'entrepreneur. Cette dernière est exemptée si il n'existe aucune installation de recyclage dans un rayon de 60 km.
Circulaire ministérielle du 9 mai 1995	Autorisation d'utilisation de matériaux recyclés comme matières premières secondaires moyennant le respect de certaines conditions techniques. Les débris recyclés peuvent ainsi être réutilisés dans les travaux routiers, en terrassements, sous-fondations et fondations ou en revêtements de chaussées. Les matériaux recyclés pouvant être utilisés sont les concassés de débris de béton ou de maçonnerie, les concassés mixtes (béton et maçonnerie), les concassés de débris d'enrobés hydrocarbonés, les sables de criblage et de concassage de débris.
Circulaire du 22 septembre 1995	Relative à la réutilisation des débris dans les travaux routiers et d'infrastructures
Arrêté du 9 mai 1996	Fixe une liste indicative des déchets dangereux

Ordonnance du 22 avril 1999	Relative à la prévention et la gestion des déchets de produits en papier/carton.
Ordonnance du 18 mai 2000 modifiant l'Ordonnance du 7 mars 1991	Responsabilisation des producteurs de certains produits: obligation de reprise, de collecte, de valorisation ou d'élimination.
Arrêté du 23 mai 2001	Prescriptions relatives à la manutention, le dépôt, l'emballage et le transport des déchets d'amiante.
Arrêté du 18 avril 2002	Prévention et réduction des dommages de la mise en décharge sur la santé et l'environnement.
Arrêté du 25 avril 2002	Établit la liste des déchets et des déchets dangereux
Arrêté du 18 juillet 2002	Obligation de reprise de certains déchets en vue de leur valorisation ou de leur élimination. Cette obligation concerne 11 flux de déchets: DEEE, VHU, huiles et graisses alimentaires et non-alimentaires, pneus usagés, batterie au plomb, piles et accumulateurs, médicaments, déchets photographiques, emballages, papiers et cartons. L'arrêté a été ultérieurement modifié par les arrêtés du 3juin 2004 et du 23 mars 2006.
Arrêté du 10 avril 2008	Obligation d'enlever l'amiante contenu dans les bâtiments avant leur démolition avec prescription pour la manutention, le dépôt, l'emballage, ... Inventaire amiante nécessaire pour tout chantier de démolition/rénovation de bâtiments de plus de 500 m2 et datant d'avant 1998. Toute demande de permis d'environnement (PE) relative à un chantier d'enlèvement ou d'encapsulation d'amiante doit fournir un inventaire amiante et est traitée par l'IBGE.

Source: [TRACHTE, 2003] [HANNEQUART, 2007]

ANNEXES PARTIE 3

Dans cette partie sont reprises les fiches de synthèse de chacun des dix projets analysés ainsi que les tableaux concernant l'analyse des tendances d'intervention en matière de démolition et d'isolation. Dans un second temps, les plans du projet Application ayant fait l'objet de l'analyse de "bilan matière" sont présentés ainsi que les tableaux de quantification des fractions de matières avant, pendant et après rénovation.

3.1. FICHES DE SYNTHÈSE PAR PROJET

1	BATEX	Application
	situation	Auderghem
	année de construction	1921
	configuration	2F
	niveau	R+1 +comble
	affectation	Logement individuel
	surface	122 m²
	volume	493 m³
	type d'intervention	rénovation + partie extension
	objectifs	26 kWh/m².an
	description générale	toiture à versant conservée (sf toiture annexe), renforcée et isolée, toiture plate existante conservée et isolée, nouvelle toiture plate isolée pour l'extension sàm, façades avant et arrière + une partie mitoyenne isolée par l'extérieur, châssis avant conservés (remplacement du vitrage par du double) et châssis arrière neufs, dalle de sol conservée et isolée, cloisonnement intérieur conservé + nouvelles cloisons (comble)

		type d'intervention	type d'isolation
toiture	**à versant**	entièrement démolie), structure renforcée, isolation	cellulose insufflée
	plates	conservée (sf finitions plafond) et isolée dans structure	cellulose inufflée et mousse
façade	**avant**	conservation de la structure et finitions intérieures + isolation extérieure	EPS
	arrière	châssis conservés / changement du vitrage	
		démolitions réduites (une partie de l'annexe: sàm) + isolation extérieure	EPS
		châssis bois neufs triple vitrage	
mitoyens		en partie isolé par l'extérieur et intérieur (partie arrière)	EPS et fibre de bois
dalle de sol	**sur terre plein**	conservée et isolée en partie supérieure	cellulose
	sur cave	conservée dont une partie isolée en partie supérieure et autre partie isolée en partie inférieure	cellulose et fibre de bois
éléments horizontaux	**planchers**	démolitions réduites (trémies) + nouveau plancher comble pour espace technique	
éléments verticaux	**cloisons**	pas de démolitions + nouvelles cloisons dans les combles	
	murs porteurs	démolitions réduites (agrandissement baie au rez)	
	menuiseries	conservation + redimensionnement	
	circulation	conservée	

1	BATEX		Application
	équipements	**chauffage/ECS**	chaudière existante conservée (relativement neuve) panneaux solaires thermiques radiateurs conservés appareils sanitaires conservés en partie + nouveaux
		électricité	nouvelles installation aux normes panneaux solaires PV
		ventilation	double flux
		citerne d'eau de pluie	existante comblée par des inertes produits par les travaux

2	BATEX			
	situation		Watermael-Boitsfort	
	année de construction		1960	
	configuration		2F	
	niveau		R+2 +comble	
	affectation		logement ind	
	surface		150 m²	
	volume		540 m³	
	type d'intervention		rénovation	
	objectifs		15 kWh/m²an	
	description générale		isolation ext complète, nouvelle toiture, nouvelle dalle de sol	
			type d'intervention	**type d'isolation**
	toiture	**à versant**	démolition/reconstruction	cellulose insufflée
	façade	**avant**	conservation de la structure et isolation extérieure nouveaux châssis bois/alu triple vitrage	EPS + enduit
		arrière	<25% démolition (allèges) + isolation extérieure nouveaux châssis bois/alu triple vitrage	EPS + enduit
	mitoyens		démolition finitions intérieures	/
	dalle de sol	**sur terre plein**	démolition/reconstruction avec dalle béton armée	PUR
	éléments horizontaux	**planchers**	démolition couches de finitions et revêtement	/
	éléments verticaux	**cloisons**	<25% démolition structurelle(séjour) + démolition complète des finitions	
		murs porteurs	<25% démolition structurelle(séjour) + démolition complète des finitions	
		menuiseries	en partie conservées	
		circulation	conservée	
	équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière nouveaux panneaux solaires thermiques nouveaux radiateurs nouveaux appareils sanitaires	
		électricité	installation neuve	
		ventilation	double flux (neuf)	
		citerne d'eau de pluie		

3	BATEX	
	situation	Auderghem
	année de construction	1950
	configuration	2F
	niveau	R+2
	affectation	Logement individuel
	surface	275 m²
	volume	900 m³
	type d'intervention	rénovation et nouvelle extension
	objectifs	30 kWh/m².an
	description générale	toiture neuve ainsi que la façade arrière (extension sur toute la hauteur) isolée par l'extérieur, la façade avant est isolée par l'intérieur,les châssis sont remplacés ainsi que les techniques, une nouvelle circulation est créée, démolition cloisonnements intérieurs importante

		type d'intervention	type d'isolation
toiture	**à versant**	démolition/reconstruction toiture plate	
			laine de bois
	plate	nouvelle toiture (rénovation et extension)	laine de bois
façade	**avant**	conservation de la structure et isolation par l'intérieur	
			laine de bois
		nouveaux châssis alu double vitrage	
	arrière	nouvelle façade arrière en blocs silico-calcaire et isolation par l'extérieur (extension sur toute la hauteur du bâtiment)	
			laine de bois
		nouveaux châssis alu double vitrage	
mitoyens		isolée en partie latérale (dépassant)	laine de bois
dalle de sol	**sur terre plein**	nouvelle dalle extension béton armé	laine de bois
	sur garage	isolation sur dalle béton existante/nelle finition	laine de bois
éléments horizontaux	**planchers**	démolition à 50% + nouveaux planchers extension	
			laine de bois?
éléments verticaux	**cloisons**	démolition presque totale + nouvelles cloisons séparatives	
	murs porteurs	démolition <25%	
	menuiseries	entièrement neuves	
	circulation	démolition/reconstruction d'un nouvel escalier	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière	
		nouveaux panneaux solaires thermiques	
		nouveaux radiateurs	
		nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	installation neuve	
	ventilation	double flux (neuf)	
	citerne d'eau de pluie	neuve 3000L	

4	BATEX	
	situation	Woluwe-st-Lambert
	année de construction	début 20ème siècle
	configuration	2F
	niveau	R+1 +comble
	affectation	Logement individuel
	surface	194 m²
	volume	759 m³
	type d'intervention	rénovation
	objectifs	25 kWh/m².an
	description générale	nouvelle toiture, façade avant isolée par l'intérieur et façade arrière isolée par l'extérieur, nouveaux châssis en façade arrière, démolition importante des cloisonnements intérieurs et reconstruction de nouvelles cloisons, nouvelle circulation

		type d'intervention	**type d'isolation**
toiture	**à versant**	toiture entièrement neuve isolée+ nouvelle verrière	cellulose insufflée
façade	**avant**	façade entièrement conservée (ainsi que les châssis) et isolée par l'intérieur	EPS
	arrière	façade en partie démolie pour changement de baie et isolée par l'extérieur	
		nouveaux châssis bois/alu à coupure thermique triple	
mitoyens		en partie isolée sur parties arrières dépassantes	
dalle de sol	**sur terre plein**	conservée telle quelle car dalle de cave/garage	
	sur garage	nouvelles finitions (supérieures et inférieures) et isolation	cellulose / EPS
éléments horizontaux	**planchers**	nouvelles finitions (supérieures et inférieures) et isolation phonique	
éléments verticaux	**cloisons**	démolitions importantes et recloisonnement	
	murs porteurs	démolitions moyennes et rebouchage de baies	
	menuiseries	réutilisation maximale	
	circulation	démolition/reconstruction d'une nouvel escalier	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière	
		nouveaux panneaux solaires thermiques	
		nouveaux radiateurs	
		nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	installation neuve	
		nouveaux panneaux solaires photovoltaïques	
	ventilation	double flux (neuf)	
	citerne d'eau de pluie	existante	

5	BATEX	
	situation	Saint-Gilles
	année de construction	1890
	configuration	2F
	niveau	R+1 +comble
	affectation	Logement individuel
	surface	223 m²
	volume	770 m³
	type d'intervention	rénovation et nouvelle extension
	objectifs	21 kWh/m².an
	description générale	toiture à versant démolie à presque 100% (seules les panne et charpente sont conservées), nouvelle toiture plate (extension et chien assis), façade avant conservée et isolée par l'intérieur (châssis non modifiés), façade arrière en grande partie neuve (extension) isolée par l'extérieur et dans structure bois, dalle sur cave isolée par en dessous et nouvelle dalle sur terre plein.

		type d'intervention	**type d'isolation**
toiture	**à versant**	nouvelle toiture (sauf pannes et 1 charpente) isolée dans l'épaisseur des chevrons	cellulose insufflée
façade	**avant**	pas de démolitions, isolation par l'intérieur (8 à 10 cm)	fibre de bois
		châssis bois existants conservés	
	arrière	démolition presque complète, nouvelles extensions en maçonnerie et structure bois isolées par l'extérieur	cellulose et fibre de bois
		nouveaux châssis bois triple vitrage	
mitoyens		parties latérales arrières (nouvelle extension) isolées par l'intérieur	fibre de bois
dalle de sol	**sur terre plein**	nouvelle dalle de sol avec chauffage intégré	liège
	sur cave	non modifiée et isolée par en dessous	
éléments horizontaux	**planchers**	modifiés pour trémies, nouveau plancher mezzanine (comble)	
éléments verticaux	**cloisons**	très peu de démolitions mais nouvelles cloisons créées	
	murs porteurs	très peu de démolition (uniquement cave) et nouvelles	
	menuiseries		
	circulation	non modifiées	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière	
		panneaux solaires thermiques	
		nouveaux radiateurs	
		nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	nouvelles installations et équipements	
		panneaux solaires PV	
	ventilation	double flux	
		puit canadien	
	citerne d'eau de pluie	3600 L	

6	BATEX	
	situation	Uccle
	année de construction	1934
	configuration	2F
	niveau	R+1 +comble
	affectation	Logement individuel
	surface	181 m²
	volume	706 m³
	type d'intervention	rénovation et nouvelle extension
	objectifs	28 kWh/m².an
	description générale	toiture presque entièrement neuve (extension en toiture plate), nouvelle toiture plate extension, façade avant conservée et isolée par l'intérieur (changement vitrage châssis), façade arrière en partie démolie (rez) isolée par l'extérieur, nouvelle façade arrière en structure bois, mitoyen isolé par l'extérieur en partie, nouvelle dalle de sol (extension), dalle et plancher existants sur cave isolés, cloisonnements intérieurs conservés

		type d'intervention	type d'isolation
toiture	**à versant**	toiture presque entièrement démolie (sauf pannes versant avant) et transformation en toiture plate (extension) + isolation	cellulose
	plates	nouvelles toitures plates (extensions) en structure bois isolée	cellulose et résol
façade	**avant**	pas de démolitions (réduit finitions int) et isolation intérieure	résol
		châssis conservés / nouveau double vitrage	
	arrière	au rez démolition importante de la façade + nouvelle façade extensionle, reste n'est pas modifié et isolé par l'extérieur	XPS (néopor)
		nouvelle façade extension en structure bois isolée	cellulose
		nouveaux châssis bois triple vitrage	
mitoyens		enpartie isolé par l'extérieur en partie dépassant avant	
dalle de sol	**sur terre plein**	nouvelle dalle béton isolée	résol
	sur cave	partie béton isolée en partie inférieur et plancher bois isolé dans épaisseur	résol et laine de verre
éléments horizontaux	**planchers**	pas de démolition sauf pour trémie technique, nouveau plancher comble	
éléments verticaux	**cloisons**	conservés avec quelques ragréages plafonnage	
	murs porteurs	conservés avec quelques ragréages plafonnage	
	menuiseries	en grande partie conservées	
	circulation	conservée	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière	
		panneaux solaires thermique	
		nouveaux radiateurs	
		nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	nouvelle installation conforme	
	ventilation	double flux	
	citerne d'eau de pluie	existante maintenue	

7	BATEX	
	situation	Forest
	année de construction	1922
	configuration	2F
	niveau	R+1 +comble
	affectation	Logement individuel
	surface	114 m²
	volume	412 m³
	type d'intervention	rénovation et nouvelle extension
	objectifs	23 kWh/m².an
	description générale	toiture à versant entièrement démolie et reconstruite, nouvelle toiture plate (lucarne et extension), façades avant non modifiée et isolée par l'extérieur (châssis bois neuf triple vitrage), façade arrière en partie démolie (rez entièrement) avec partie existante isolée par l'extérieur et parois neuve en structure bois, nouvelle dalle de sol, cloisonnement intérieur fortement démoli (au rez), nouvelle circulation

		type d'intervention	type d'isolation
toiture	**à versant**	démolition complète et nouvelle toiture isolée avec extension (lucarne) en partie arrière	cellulose insufflée
	plates	nouvelles toitures isolées créées (extension et lucarne)	cellulose insufflée et mousse résol
façade	**avant**	pas de démolitions (modification) et isolation extérieure	EPS
		nouveaux châssis bois triple vitrage	
	arrière	démolition partielle (rez démoli entièrement), partie existante isolée par l'extérieur, nouvelles parois en structure bois isolée	EPS et cellulose insufflée
		nouveaux châssis bois triple vitrage	
mitoyens		en partie isolés par l'intérieur en parties arrières (extension)	cellulose insufflée
dalle de sol	**sur terre plein**	démolition complète et nouvelle dalle isolée	mousse résol
éléments horizontaux	**planchers**	démolitions pour nouvelle circulation et trémies techniques	
éléments verticaux	**cloisons**	démolitions importantes	
	murs porteurs	démolitions importantes localisées au rez	
	menuiseries	récupération au maximum	
	circulation	ancienne circulation enlevée et placement d'une	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière	
		panneaux solaires thermique	
		nouveaux radiateurs	
		nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	nouvelle installation conforme	
		panneaux solaire PV	
	ventilation	double flux	
	citerne d'eau de	existante réutilisée	

8	BATEX	
	situation	Saint-Gilles
	année de construction	1895
	configuration	2F
	niveau	R+2 +comble
	affectation	Logement individuel
	surface	202 m²
	volume	703 m³
	type d'intervention	rénovation et extension
	objectifs	43 kWh/m².an
	description générale	toiture presque entièrement démolie (sauf structure qui est renforcée) + création toiture plate, façade avant classée isolée très faiblement par l'intérieur (châssis dédoublés), façade arrière isolée par l'extérieur avec nouvelles parois créées, dalle de sol en grande partie conservée et non améliorée (<50% nouvelle dalle), cloisonnement intérieur conservé

		type d'intervention	**type d'isolation**
toiture	**à versant**	seule la structure est conservée, renforcée et isolée + nouvelle verrière alu triple vitrage pour la sàm	cellulose insufflée
	plates	nouvelle toiture plate en structure bois isolée (lucarne)	cellulose insufflée et résol
façade	**avant**	entièrement conservée (sf plafonnage) et faiblement isolée par l'intérieur châssis bois simple vitrage conservés et dédoublés par châssis bois intérieur double vitrage	XPS
	arrière	peu de démolition (allège et création de baies) et isolation par l'extérieur + création de nouvelles parois (maçonnerie et structure bois) nouveaux châssis bois triple vitrage + 1 châssis alu triple vitrage (sàm)	fibre de bois et cellulose insufflée
mitoyens			
dalle de sol	**sur terre plein**	en partie conservée sans amélioration + nouvelle dalle en partie arrière	PUR
éléments horizontaux	**planchers**	plancher existants conservés + nouvelles finitions au +2, création de nouveaux planchers	
éléments verticaux	**cloisons**	cloisonnement intérieur conservé et création de nouvelles cloisons légères (+2 et comble)	
	murs porteurs	pas de démolition + fermeture de certaines baies	
	menuiseries	conservées au maximum	
	circulation	circulation existante conservée + nouvel escalier en bois vers comble	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière panneaux solaires thermique (versant avant) radiateur neufs et réutilisés nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	nouvelle installation conforme	
	ventilation	double flux	
	citerne d'eau de pluie	nouvelle citerne en cave	

9	BATEX	
	situation	Auderghem
	année de construction	1930
	configuration	2F
	niveau	R+1 +comble
	affectation	Logement individuel
	surface	117 m²
	volume	466 m³
	type d'intervention	rénovation
	objectifs	16 kWh/m².an
	description générale	toiture à versant presque entièrement neuve (structure conservée et renforcée), toiture plate isolée structure conservée et renforcée, façade avant conservée et isolée par l'intérieur (châssis bois neuf triple vitrage), façade arrière en partie démolie et isolée par l'extérieur pour la partie existante- la partie neuve est isolée dans l'éapaisseur de la structure (nouveaux châssis bois triple vitrage), mitoyens isolés par l'extérieur et/ou l'intérieur en partie arrière, dalle de sol conservée et isolée en partie supérieure, cloisonnement intérieur entièrement remis à neuf

		type d'intervention	**type d'isolation**
toiture	**à versant**	démolition importante (sauf structure renforcée), isolation supérieure et dans chevronnage existant	fibre de bois et cellulose insufflée
	plates	démolition finitions intérieures (structure renforcée), isolation supérieure et dans chevronnage existant	fibre de bois et cellulose insufflée
façade	**avant**	démolition complète des finitions intérieures, isolation par l'intérieur nouveaux châssis bois triple vitrage	cellulose
	arrière	nouvelle paroi en structure bois isolée au rez et isolation extérieure pour la mur existant nouveaux châssis bois triple vitrage	cellulose et XPS
mitoyens		isolé par l'extérieur et/ou l'intérieur en partie arrière	XPS, cellulose et PUR
dalle de sol	**sur terre plein**	conservation et isolation en partie supérieure	cellulose
éléments horizontaux	**planchers**	peu de démolition sauf pour les trémies	
éléments verticaux	**cloisons**	démolitions importantes dont démolition complète des	
	murs porteurs	démolition complète des finitions	
	menuiseries	nouvelles portes intérieures	
	circulation	conservation escalier	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière gaz à condensation panneaux solaires thermiques nouveaux radiateurs nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	nouvelle installation aux normes	
	ventilation	double flux	
	citerne d'eau de pluie	citerne existante conservée	

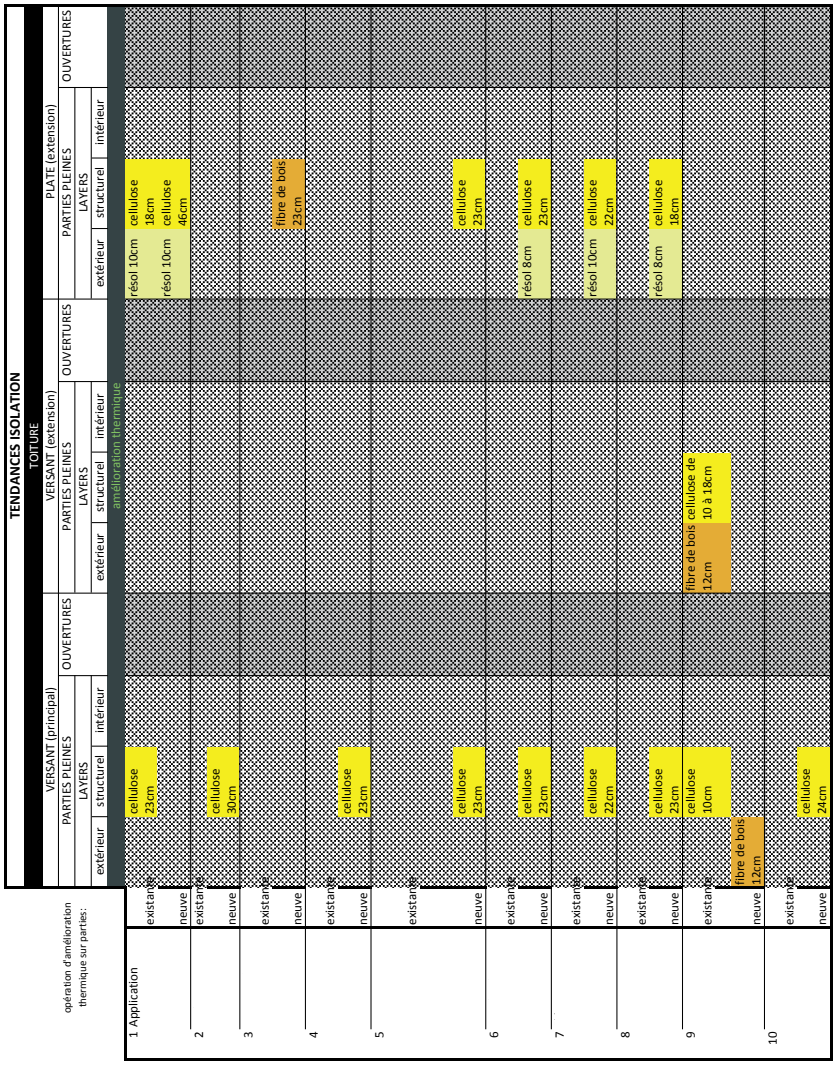
10 BATEX

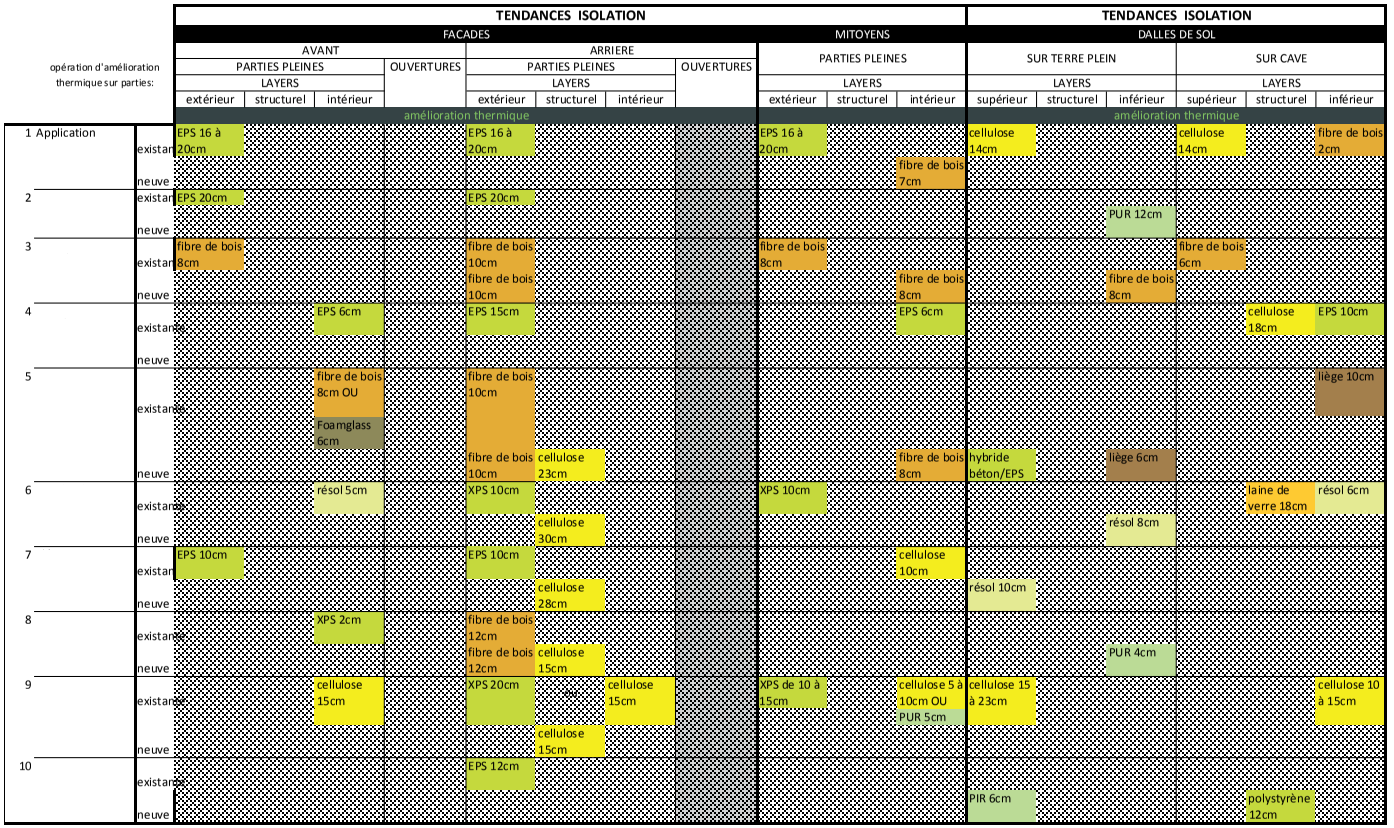
situation	Schaerbeek
année de construction	1930
configuration	2F
niveau	R+1 +comble
affectation	Logement individuel
surface	140 m²
volume	
type d'intervention	rénovation
objectifs	60 kWh/m².an
description générale	toiture à versant entièrement neuve, façade avant non isolée (nouveaux châssis double vitrage), façade arrière fortement démolie isolée par l'extérieur, nouvelle dalle de sol isolée (>75%), cloisonnement intérieur en grande partie démoli (sauf au +1), planchers conservés avec nouveaux faux-plafonds

		type d'intervention	**type d'isolation**
toiture	**à versant**	démolition complète, nouvelle toiture isolée ds l'épaisseur de la structure avec nouveaux vélux	cellulose insufflée
façade	**avant**	conservation, démolition des finitions intérieures nouveaux châssis alu double vitrage 1.1	
	arrière	démolitions importantes, nouvelles parois et parties existantes isolées par l'extérieur	EPS graphité
		nouveaux châssis alu double vitrage 1.1	
mitoyens		conservation (corps de cheminée démoli)	
dalle de sol	**sur terre plein**	démolitions importantes, nouvelle dalle isolée, dalle de cave conservée	PIR
	sur cave	démolitions importantes, nouveau plancher poutrains-claveau isolé, dalle béton du hall	polystyrène
éléments horizontaux	**planchers**	conservation, démolition plafonds et nouveaux faux-plafonds, renforcement structure, isolation entre gîtes	laine minérale
éléments verticaux	**cloisons**	démolitions importantes, nouvelles cloisons métal stud	
	murs porteurs	démolition des finitions, peu de démolition structurelle	
	menuiseries	nouvelles portes bois	
	circulation	conservation	
équipements	**chauffage/ECS**	nouvelle chaudière nouveaux radiateurs nouveaux appareils sanitaires	
	électricité	nouvelle installation conforme aux normes	
	ventilation	double flux	
	citerne d'eau de pluie	/	

3.2. TENDANCES D'INTERVENTION

Dans un premier temps, les tendances d'intervention en matière d'isolation de l'enveloppe sont présentées selon le type, l'épaisseur et la position de l'isolation dans le layer (case et code couleur présentés ci-dessous). Ensuite, des tableaux synthétiques des tendances en matière de démolition sont proposés par composantes et degré d'intervention.




TENDANCES ISOLATION
TENDANCES ISOLATION
FACADES
MITOYENS
DALLES DE SOL
opération d'amélioration thermique sur parties:
AVANT
ARRIERE
PARTIES PLEINES
OUVERTURES
LAYERS
extérieur
structurel
intérieur
supérieur
inférieur
SUR TERRE PLEIN
SUR CAVE
amélioration thermique
1 Application
existant
neuve
2
3
4
5
6
7
8
9
10
EPS 16 à 20cm
fibre de bois 7cm
EPS 20cm
fibre de bois 8cm
fibre de bois 10cm
fibre de bois 6cm
EPS 6cm
EPS 15cm
EPS 10cm
cellulose 18cm
fibre de bois 8cm OU
Foamglass 6cm
liège 10cm
cellulose 23cm
hybride béton/EPS
liège 6cm
résol 5cm
XPS 10cm
laine de verre 18cm
résol 6cm
cellulose 30cm
résol 8cm
cellulose 10cm
cellulose 28cm
résol 10cm
XPS 2cm
fibre de bois 12cm
cellulose 15cm
PUR 4cm
cellulose 15cm
XPS 20cm
cellulose 15cm
XPS de 10 à 15cm
cellulose 5 à 10cm OU PUR 5cm
cellulose 15 à 23cm
cellulose 10 à 15cm
EPS 12cm
PIR 6cm
polystyrène 12cm
cellulose 14cm
PUR 12cm

TENDANCES DEMOLITION

TOITURE

	VERSANT (principal)				VERSANT (extension)				PLATE (extension)			
	PARTIES PLEINES			OUVERTURES	PARTIES PLEINES			OUVERTURES	PARTIES PLEINES			OUVERTURES
	LAYERS				LAYERS				LAYERS			
	extérieur	structurel	intérieur		extérieur	structurel	intérieur		extérieur	structurel	intérieur	
	pourcentage d'intervention de démolition											
1 Application	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	
2	1	1	1	1								
3	1	1	1	1								
4	1	1	1	1								
5	1	0,75		1					1	1	1	
6	1	0,75	1	1					1	1	1	
7	1	1	1	1	1	1	1					
8	1	0,25	1	1					1	1	1	
9	1	0	1	1					0	0	1	1
10	1	1	1	1								

TENDANCES DEMOLITION

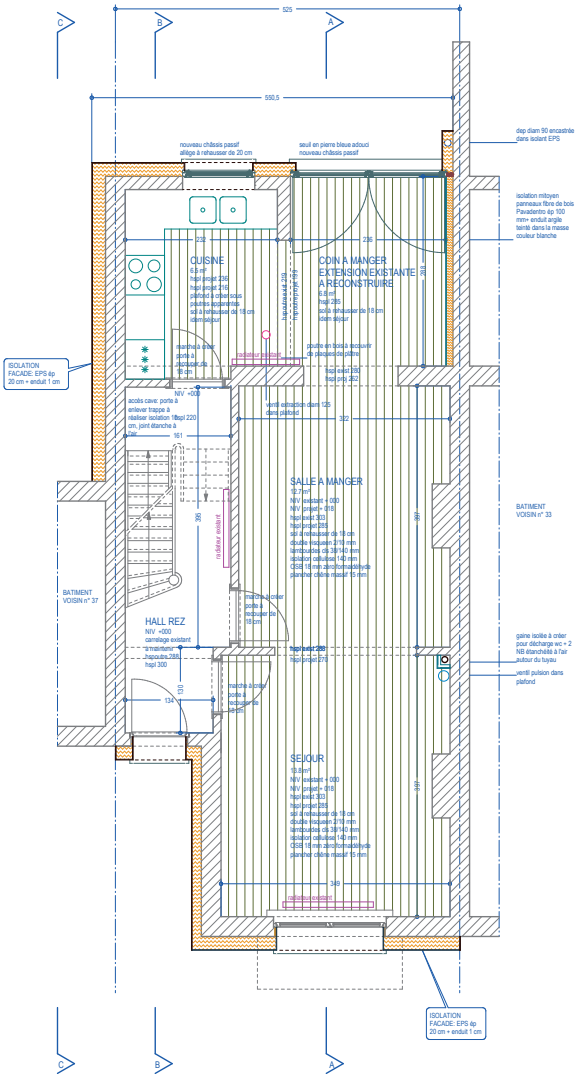
FACADES

	AVANT				ARRIERE				MITOYENS		
	PARTIES PLEINES			OUVERTURES	PARTIES PLEINES			OUVERTURES	PARTIES PLEINES		
	LAYERS				LAYERS				LAYERS		
	extérieur	structurel	intérieur		extérieur	structurel	intérieur		extérieur	structurel	intérieur
	pourcentage d'intervention de démolition										
1 Application	0	0	0	0,5	0,25	0,25	0,5	1	0	0	0
2		0	1	1		0,25	1	1	0	0	1
3		0,25	0,25	1		0,5	1	1	0	0	1
4	0	0	0	0	0,25	0,25	0,25	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0,75	0,75	1	1	0	0	0
6		0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	0	0
7		0	0,25	1	0,5	0,5	0,5	1	0	0	0
8		0	1	0	0,25	0,25	0,25	1	0	0	0
9	0	0	1	1	0,25	0,25	1	1	0	0	1
10		0	1	1	0,75	0,75	1	1	0	0	1

		TENDANCES DEMOLITION					
		DALLES DE SOL					
		SUR TERRE PLEIN			SUR CAVE		
		LAYERS			LAYERS		
		supérieur	structurel	inférieur	supérieur	structurel	inférieur
		pourcentage d'intervention de démolition					
1	Application	0	0	0	0,25	0,25	0,25
2		1	1	1			
3					0,25	0,25	0,25
4					0,25	0,25	0,25
5		1	1	1	0,25	0,25	0,25
6		1	1	1	0	0	0
7		1	1	1			
8		0,5	0,5	0,5	0	0	0
9		0	0	0	0	0	0
10		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

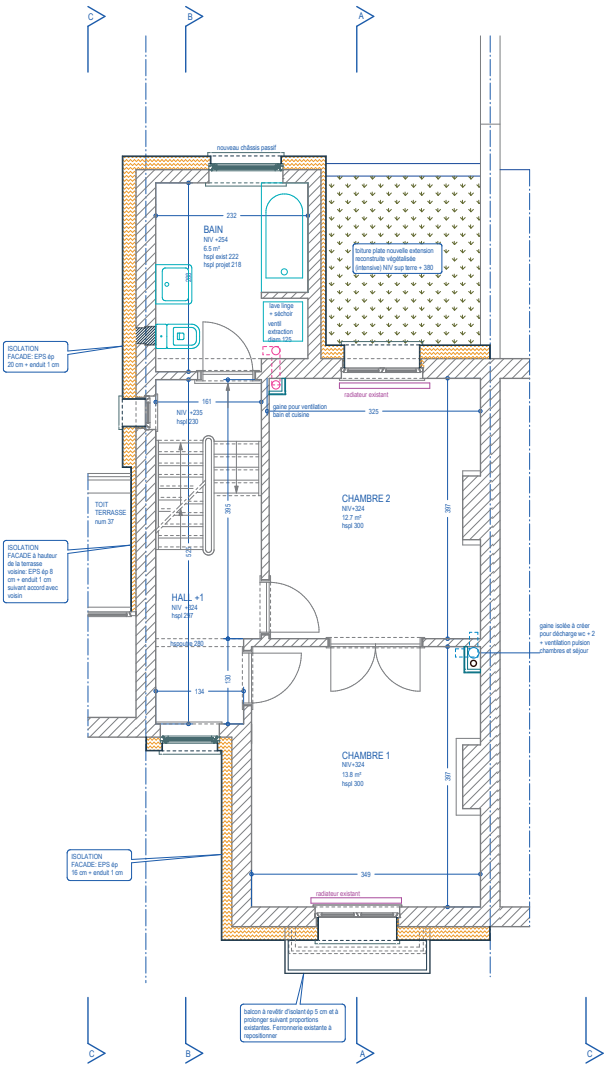
		TENDANCES DEMOLITION										
		ELEMENT HORIZONTAUX			ELEMENTS VERTICAUX							
		PLANCHERS			CLOISONS			MURS PORTEURS			MENUISERIES INTERIEURES	CIRCULATION
		LAYERS			LAYERS			LAYERS				
		supérieur	structurel	inférieur	extérieur	structurel	intérieur	extérieur	structurel	intérieur		
		pourcentage d'intervention de démolition										
1	Application	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0
2		1	0,25	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0
3		0,5	0,5	1	1	1	1	0,75	0,25	0,75	1	1
4		0,25	0,25	0,25	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,25	1
5		0,25	0	1	1	0,25	1	1	0,25	1	0,25	0
6		0,25	0,25	0,25	0	0	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0
7		0,25	0,25	0,25	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,25	1
8		0	0	0	0	0	0	0,25	0	0,25	0,25	0
9		0,25	0,25	1	0,75	0,75	0,75	1	0,25	1	0,75	0
10		0	0	1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,25	0,75	1	0

3.3. PROJET APPLICATION



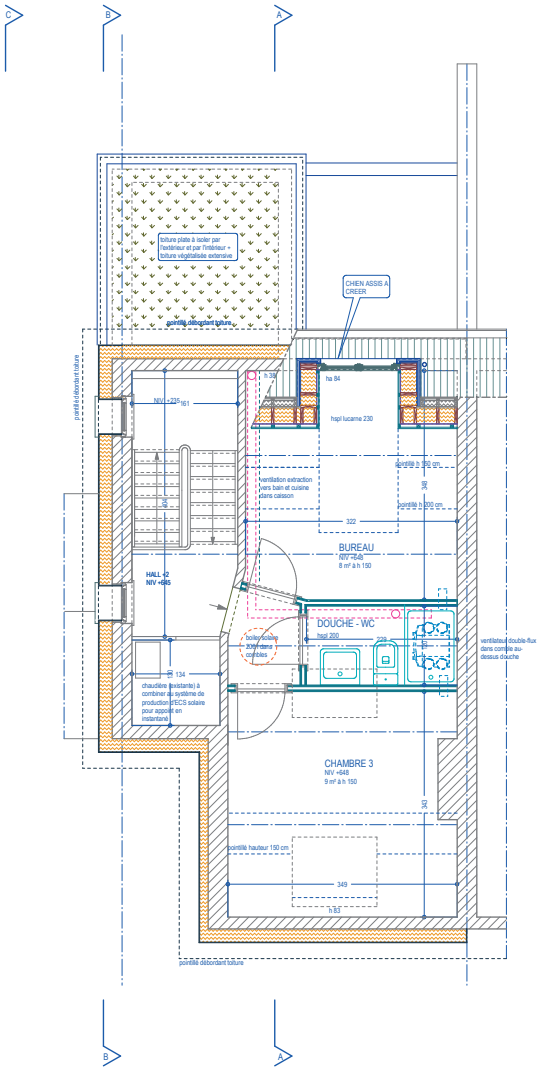
REZ DE CHAUSSEE

Source: Gérard Bedoret, architecte©



1 er ETAGE

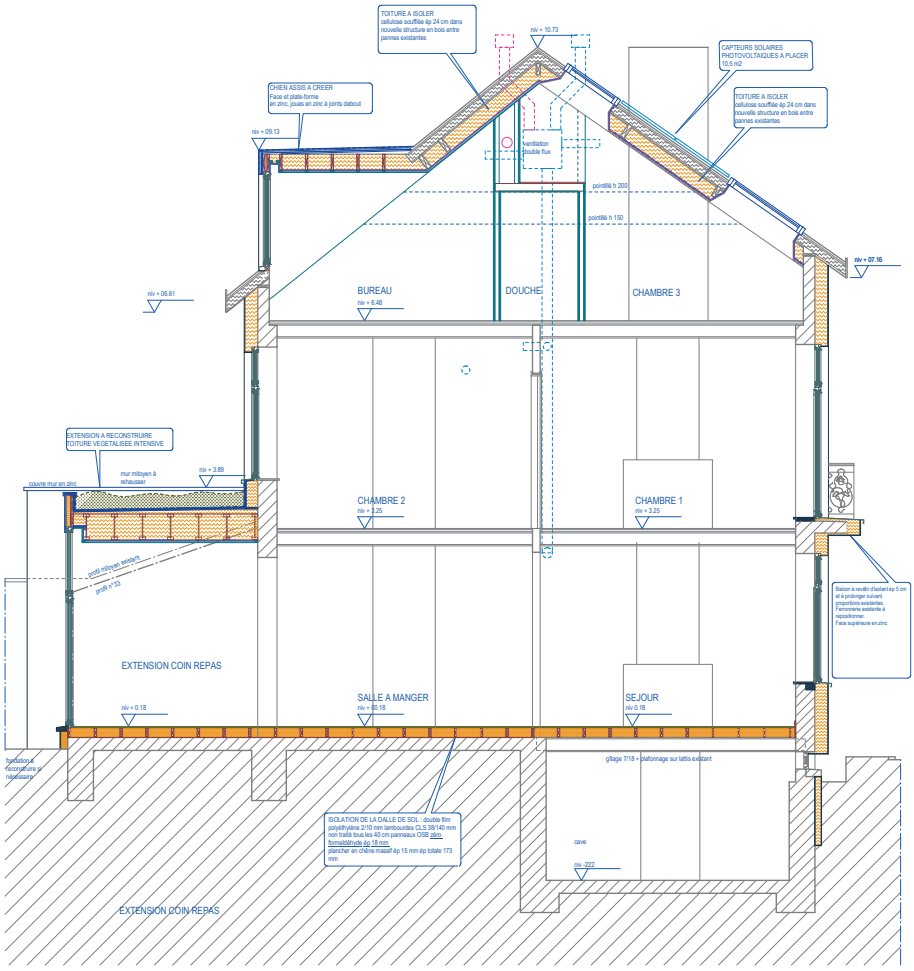
Source: Gérard Bedoret, architecte©



2 ème ETAGE

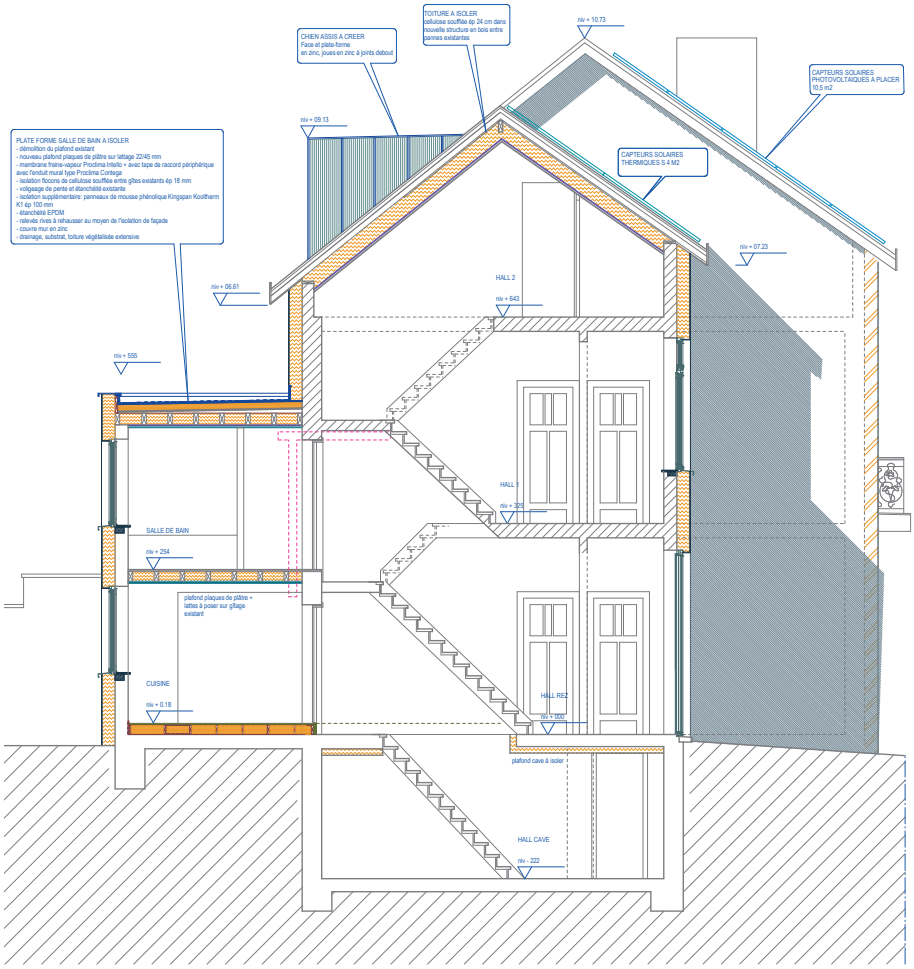
Source: Gérard Bedoret, architecte©

COUPE AA



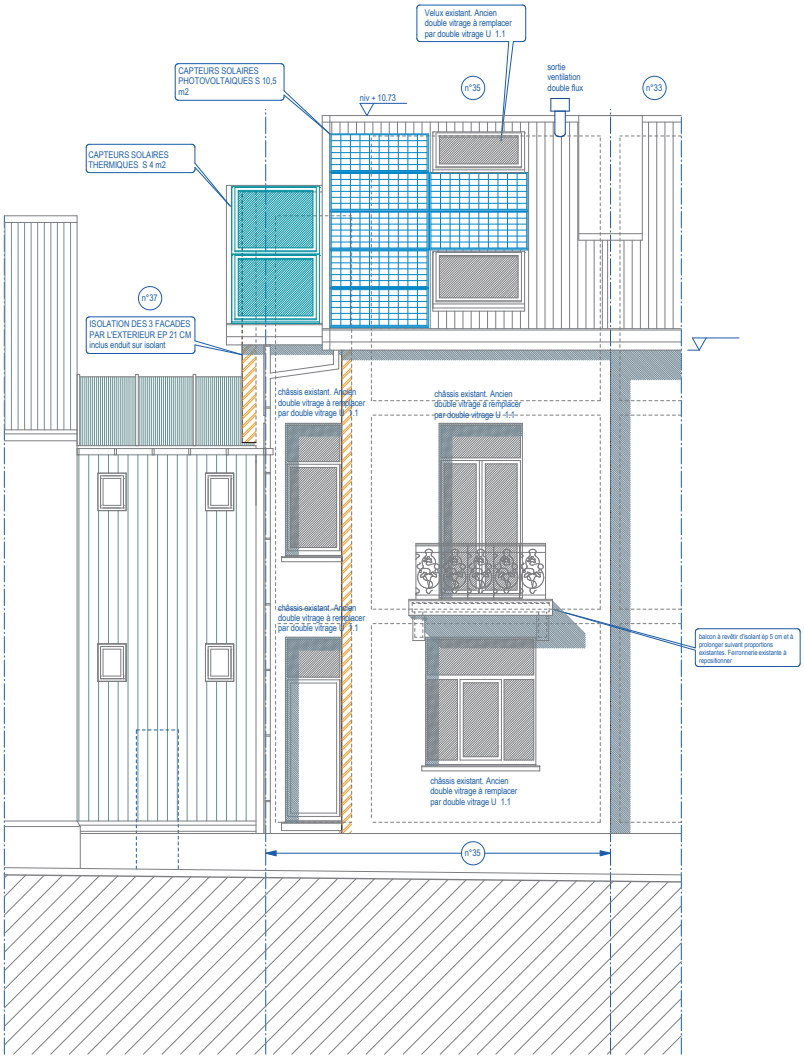
Source: Gérard Bedoret, architecte©

COUPE BB



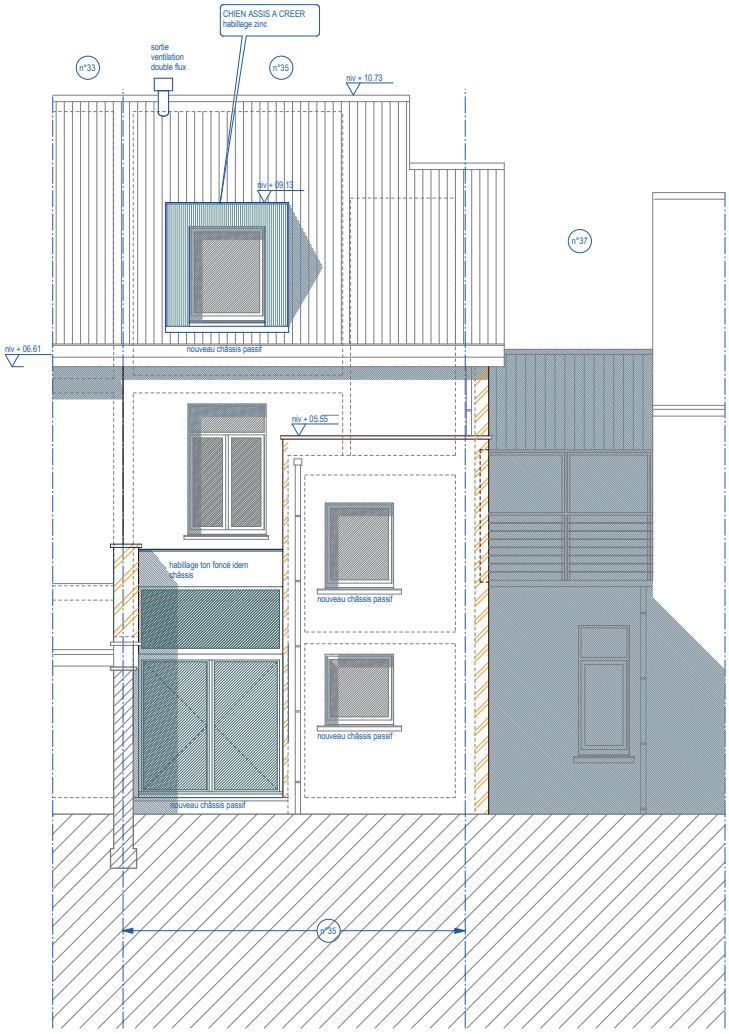
Source: Gérard Bedoret, architecte©

FACADE AVANT



Source: Gérard Bedoret, architecte©

FACADE ARRIÈRE



Source: Gérard Bedoret, architecte©

3.4. BILAN MATIÈRE - PROJET APPLICATION

3.4.1. AVANT RENOVATION

TABLEAU RECAPITULATIF		CL	TYPE	SITUATION	PROPRIETES kg/mc	kg/m3	m2	m3	kg			
BILAN EXISTANT												
INERTES	BETON ET CIMENT	3	blocs creux béton de	façade avant		650,00	69,75	21,89	14230,66	82,92	m3	78,51
				façade arrière		650,00	59,30	16,61	10795,25	66452,84	kg	57751,78
				mitoyens		650,00	186,18	26,89	17479,59	66,45	T	
				cloisons int.		650,00	51,99	4,68	3041,66			
				murs porteurs int.		650,00	9,88	2,77	1797,26			
			blocs réfractaires			1000,00	2,10	0,53	525,00			
			béton armé	balcon_Fav.		2400,00	0,28	0,06	133,44			
				dalle de cave		2400,00	6,95	0,59	1418,31			
			béton en chape	dalle terre plein		1700,00	28,60	2,43	4132,01			
			cimentage	façade avant		1700,00	54,64	0,55	928,86			
				façade arrière		1700,00	40,78	0,41	693,19			
			linteaux	façade avant		2400,00	1,28	0,33	798,24			
				façade arrière		2400,00	1,48	0,27	651,36			
			granito (pierre+sable	dalle terre plein		2200,00	27,20	0,41	897,51			
				dalle de cave		2200,00	6,95	0,10	229,43			
	TERRE CUITE/ARGILE	3	tuiles TC	toiture versant		1700,00	57,36	0,98	1657,76		m³	0,98
	SABLE		sable stabilisé	cave		2000,00	21,44	2,14	4287,24		m³	2,14
	CARRELAGES	3	grès cérame/faïence	sdb_Far.		2000,00	6,36	0,13	254,20		m²	0,89
				sdb_mitoyen		2000,00	6,43	0,13	257,14		kg	1775,95
				sdb_plancher int		2000,00	6,50	0,13	260,00			
				sdb_cloisons		2000,00	3,12	0,05	93,53			
				sdb_mur porteur		2000,00	1,79	0,03	53,64			
				cave		2000,00	21,44	0,43	857,45			
	PIERRES	3	pierre bleue	seuils_Fav.		2686,00		0,08	205,21		m³	0,33
				seuils_Far.		2686,00		0,13	359,12		kg	897,91
				cheminées int.		2686,00	0,56	0,08	225,62			
			marbre	tablette_Fav.		2650,00		0,02	41,98			
				tablettes_Far.		2650,00		0,01	25,97			
				cheminées int.		2650,00	0,76	0,02	40,02			
	BITUME/ASPHALTE	3	étanchéité	toiture annexe		1150,00	8,78	0,03	30,29		m³	0,07
				toiture plate		1150,00	15,04	0,05	51,90		kg	82,19
PLÂTRE ET DERIVES		2	plaques de plâtre	toiture versant		1150,00	38,64	0,48	555,39	8,28	m3	
				toiture annexe		1150,00	3,78	0,08	87,00	9817,42	kg	
				toiture plate		1150,00	6,22	0,12	143,00	9,82	T	
				planchers int.		1150,00	68,13	1,36	1566,99			
			plaques de plâtre à l'	plancher cave		1150,00	13,86	0,28	318,67			
			plafonnage	façade avant		1200,00	38,11	0,76	914,74			
				façade arrière		1200,00	26,26	0,53	630,23			
				mitoyens		1200,00	145,23	2,90	3485,41			
				cloisons int.		1200,00	98,60	1,48	1774,85			
				murs porteurs int.		1200,00	18,95	0,28	341,14			
BOIS ET DERIVES	PLEIN	2	lattage/contre-latta	toiture versant		600,00	3,23	0,08	46,50	8,43	m3	
						600,00	2,68	0,09	51,49	6052,35	kg	
				toiture plate		600,00	0,32	0,01	6,17	6,05	T	
				entretoise_planchers int.		600,00	0,96	0,17	103,68			
				faux-plafond_comble		600,00	0,13	0,01	7,80			
				languettes_planchers int.		600,00	66,04	0,66	396,22			
			chevrons 6/9	toiture versant		600,00	6,71	0,60	362,07			
			gîtes 6/18	toiture annexe		800,00	0,91	0,14	109,20			
				toiture plate		800,00	1,51	0,27	217,12			
				plancher cave		800,00	2,38	0,43	343,01			
				planchers int.		800,00	12,21	2,20	1758,24			
			pannes 7/15 et 8/23	toiture versant		800,00	2,15	0,39	314,90			
				poutres_planchers int.		800,00	0,26	0,06	47,10			
				poutres_cheminées int.		800,00	0,31	0,04	32,03			
			planchers (pitch pine	plancher cave		600,00	13,86	0,28	166,26			
				planchers int.		600,00	72,54	1,45	870,44			
			portes	menuiseries int.		800,00	14,89	0,64	515,64			
			châssis bois	vélux-toiture versant		800,00	1,27	0,09	69,02			
				façade avant		800,00	4,78	0,32	260,00			
				façade arrière		800,00	4,03	0,27	219,22			
	PANNEAUX		support étanchéité	toiture annexe		700,00	4,39	0,09	61,46			
				toiture plate		700,00	7,52	0,14	94,77			
	ESCALIER		escalier bois									
METAUX	FERREUX	2										
	NON-FERREUX											
VERRE	FLOTTE	2	dble vitrage/verre cl	toiture		2500,00	2,76	0,02	55,22	0,13	m3	
				façade avant		2500,00	6,57	0,05	131,39	313,76	kg	
				façade arrière		2500,00	5,03	0,04	100,51	0,31	T	
			sple vitrage/martelé	portes int.		2500,00	2,66	0,01	26,64			
	BRIQUES											
PLASTIQUES ET DERIVES	TUYAUX	2								0,07	m3	
	ETANCHEITE		sous-toiture souple	toiture versant		600,00	57,36	0,06	34,42	48,34	kg	
	POLYCARBONATE		coupole	annexe		1200,00	2,90	0,01	13,92	0,05	T	
ISOLANTS	ORGANIQUES NATUI	2								4,61	m3	
	ORGANIQUES SYNTHE	TIQUES								276,59	kg	
	MINERAUX NATURELS									0,28	T	
	MINERAUX SYNTHETIQU		laine de verre	toiture		60,00	57,62	4,61	276,59			
TERRE		3										
TOTAL MATIERES								**104,44**	**82961,29**			
									82,96 T			

3.4.2. PENDANT RENOVATION

TABLEAU RECAPITULATIF		CL	TYPE	SITUA-TION	PROPRIETES					OUT	IN
BILAN FLUX (PENDANT RENOVATION)					kg/mc	kg/m3	m2	m3	kg		
INERTES	BETON ET CIMENT	3	blocs creux béton de	Far (annexe/WC)		650,00	9,16	1,24	803,80	3,48 m3	1,70 m3
				Mitoyens		650,00	6,90	0,69	448,63	3346,71 kg	2123,42 kg
				mur porteur (agrandissemen		650,00	1,68	0,50	327,60		
			blocs réfractaires	cheminée rez		1000,00	2,10	0,53	525,00		
			béton armé			2400,00					
			béton en chape			1700,00					
			cimentage	Far (annexe/WC)		1700,00	9,16	0,09	155,71		
			cimentage hydrofug	Far. Cuisine		1700,00	4,65	0,05	79,00		
			enduit minéral+arm	Fav.		1400,00	54,65	0,55	765,10		
				Far.		1400,00	29,33	0,29	410,62		
				Mitoyens		1400,00	45,22	0,45	633,08		
			linteaux	Far.		2400,00	0,61	0,10	233,76		
			granito (pierre+sable+eau+ciment)								
	TERRE CUITE/ARGILE	3	tuiles TC			1700,00					
			blocs creux			650,00	3,63	0,36	235,82		
	CARRELAGES	3	grès cérame/faïence?			2000,00					
	PIERRES	3	pierre bleue	seuils Fav.		2686,00	0,28	0,06	151,49		
				seuils Far.		2686,00	0,60	0,13	359,12		
				cheminée rez		2686,00	0,56	0,08	225,62		
			marbre	tablettes Fav.		2650,00	0,08	0,02	41,98		
				tablettes Far.		2650,00	0,08	0,01	25,97		
				cheminée rez		2650,00	0,17	0,00	8,75		
	BITUME/ASPHALTE	3	étanchéité	toiture annexe		1150,00	8,78	0,03	30,29		
				toiture wc		1150,00	2,61	0,01	9,00		
PLÂTRE ET DERIVES		2	plaques de plâtre	toiture versant		1150,00	38,64	0,48	555,39	0,56 m3	2,48 m3
				toiture annexe		1150,00	3,78	0,08	87,00	651,51 kg	2474,93 kg
				toiture plate sdb		1150,00	6,22	0,12	143,00		
				toiture plate sdb		1150,00	6,22	0,12	143,00		
				toiture plate annexe		1150,00	6,80	0,09	97,75		
				Far. (cuisine)		900,00	4,65	0,05	41,82		
				Mitoyens (cuisine)		900,00	8,64	0,11	97,20		
				cloisons combles et trémies		900,00	111,27	1,39	1251,81		
				planchers		900,00	2,29	0,05	41,27		
			plaques de plâtre à l	plancher rez (trémies)		900,00	0,04	0,00	0,72		
			plafonnage	Far. (annexe/WC)		1200,00	5,27	0,11	126,36		
				Mitoyens		1200,00	6,26	0,13	150,34		
				Mitoyens		1200,00	7,71	0,15	185,14		
				mur porteur (agrandissemen		1200,00	5,71	0,09	102,82		
				mur porteur (ragréage)		1200,00	5,71	0,09	102,82		
BOIS ET DERIVES	PLEIN	2	lattage/contre-latta	toiture versant		600,00	5,11	0,08	46,02	0,63 m3	4,67 m3
				toiture plate annexe		600,00	0,81	0,01	7,26	476,08 kg	3057,51 kg
			chevrons	combles hall faux-plafond		600,00	0,13	0,01	7,80		
			chevrons	combles plancher sdd		600,00	0,34	0,02	10,20		
			chevrons 5/5	cloisons combles (dble-flux)		600,00	2,65	0,13	79,50		
			gîtes 7/18	toiture versant		800,00	2,31	0,32	257,79		
				toiture plate annexe		800,00	0,19	0,03	26,96		
			gîtes 7/15	toiture annexe		800,00	0,91	0,14	109,20		
				mitoyens (annexe)		800,00	2,21	0,15	123,98		
			gîtes 6/18	toiture plate WC		800,00	0,22	0,04	31,88		
			poutre	cheminée rez		800,00	0,31	0,04	32,03		
			voliges 2,5/24	toiture versant		600,00	3,89	0,93	559,76		
				annexe (châssis)		600,00	1,24	0,06	37,20		
			voliges 2,5/3	toiture plate annexe		600,00	0,32	0,01	6,17		
			lambourdes 3,8/14	plancher rez		600,00	2,83	0,40	237,68		
				plancher rez		600,00	1,33	0,19	111,40		
			plancher pitch pine	plancher rez (trémies)		600,00	0,04	0,00	0,48		
				planchers		600,00	0,20	0,00	2,40		
			planchers chêne ma	plancher rez		800,00	27,19	0,41	326,39		
						800,00	13,86	0,21	166,32		
			portes	rez (rabottage)		600,00	1,93	0,07	40,57		
				combles		600,00	4,50	0,18	108,00		
			châssis bois	Far.		800,00	3,32	0,23	180,43		
				Far.		800,00	3,07	0,23	181,51		
			languettes	planchers		600,00	0,20	0,00	1,20		
	PANNEAUX		support étanchéité	toiture annexe		700,00	4,39	0,09	61,46		
				toiture WC		700,00	1,30	0,02	16,43		
			unalit	toiture versant		900,00	0,45	0,11	96,55		
			poutres FJI membru	toiture plate annexe		700,00	1,59	0,06	43,37		
			poutres FJI âme OSB	toiture plate annexe		500,00	0,18	0,06	30,35		
			poutre kerto (LC)	toiture plate annexe		500,00	0,13	0,05	25,92		
			MDF	tablettes Fav.		800,00	0,08	0,03	21,98		
				tablettes Far.		800,00	0,07	0,02	15,80		
			OSB	plancher rez		500,00	27,19	0,49	244,71		
				plancher rez		500,00	13,86	0,25	124,74		
			multiplex	toiture plate annexe		700,00	6,96	0,13	87,70		
				plancher combles sdd		700,00	2,40	0,04	30,24		
				cloisons combles (double-flu		700,00	3,36	0,06	42,34		
	ESCALIER		escalier bois								
METAUX	FERREUX	2									0,00 m3
											11,03 kg
	NON-FERREUX		aluminium	seuils Fav.		2800,00	0,71	0,00	3,95		
				seuils Far.		2800,00	0,01	0,00	7,08		
VERRE	FLOTTE	2	dble vitrage/verre cl	toiture vélux		2500,00	2,76	0,02	55,22	0,11 m3	0,17 m3
				Fav.		2500,00	6,57	0,05	131,39	287,12 kg	431,48 kg
				Far.		2500,00	5,03	0,04	100,51		
			dble vitrage/verre cl	toiture vélux		2500,00	2,76	0,02	55,22		
				Fav.		2500,00	6,57	0,05	131,39		
			tple vitrage/verre cl	Far.		2500,00	8,69	0,10	244,87		
			sple vitrage/martelé								
	BRIQUES										

PLASTIQUES ET DERIVES	TUYAUX	2						0,01 m3 13,92 kg		0,14 m3 117,80 kg
	ETANCHEITE	sous-toiture souple armée								
		frein-vapeur intello+	toiture versant		61,39	0,01	8,56			
			toiture plate annexe		6,80	0,02	0,95			
		EPDM	toiture plate sdb	1200,00	6,22	0,01	11,19			
			toiture plate annexe	1200,00	6,96	0,01	8,35			
		film polyéthylène	plancher rez	950,00	35,64	0,06	59,68			
			plancher rez	950,00	9,75	0,02	22,42			
			plancher rez (hall)	950,00	6,95	0,01	5,60			
	POLYCARBONATE	coupole	annexe	1200,00	2,90	0,01	13,92			
ISOLANTS	ORGANIQUES NATUI	2 cellulose insufflée	toiture versant	40,00	45,42	10,90	436,80			45,81 m3 1230,77 kg
			toiture plate sdb	40,00	6,22	1,12	44,77			
			toiture plate annexe	40,00	6,80	3,13	125,20			
		cellulose en vrac	plancher rez	30,00	24,36	1,75	52,64			
			plancher rez	30,00	12,53	1,75	52,64			
		fibre de bois	mitoyen (annexe)	75,00	6,43	0,45	33,74			
			plancher rez (hall)	75,00	6,95	0,10	7,82			
	ORGANIQUES SYNTHETIC	mousse phénolique	toiture plate sdb	35,00	6,22	0,62	21,76			
			toiture plate annexe	35,00	8,12	0,81	28,42			
		EPS	Fav.	17,00	58,52	10,46	177,87			
			Far.	17,00	32,33	5,85	99,52			
			Mitoyens	17,00	47,15	8,85	150,39			
	MINERAUX NATURELS									
	MINERAUX SYNTHETIQU	laine de verre								
TERRE		3								
TOTAL MATIERES (FLUX IN et OUT)								**4,80 m3** **4775,34 kg**		**54,97 m3** **9446,95 kg**

(en vert: flux IN et en rouge: flux OUT)

3.4.3. APRÈS RENOVATION

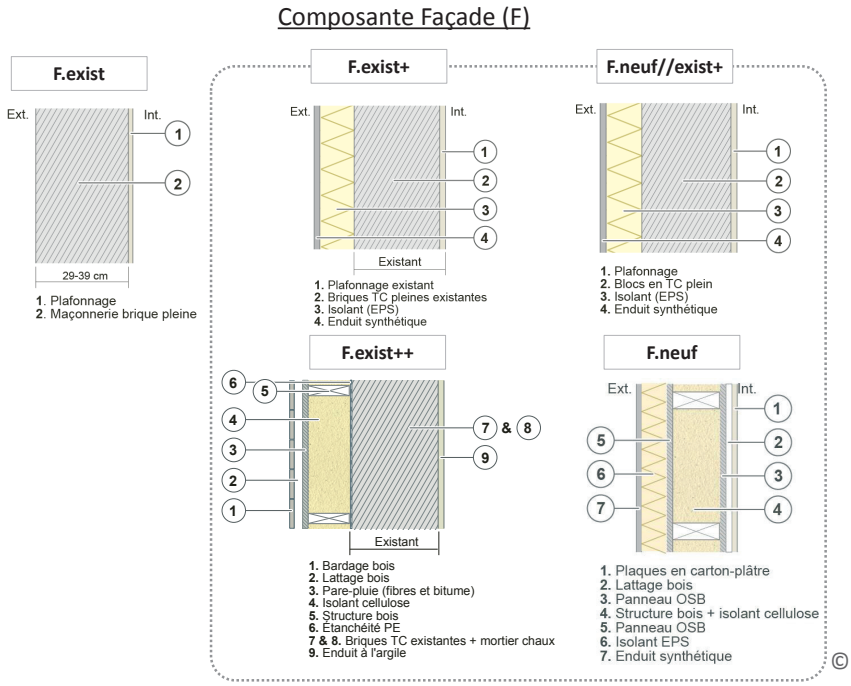
TABLEAU RECAPITULATIF APRÈS RENOVATION		**CL**	**TYPE**	**SITUA-TION**	**PROPRIETES kg/mc**	**kg/m3**	**m2**	**m3**	**kg**	**TOTAL**		
INERTES	BETON ET CIMENT	3	blocs creux béton de	façade avant		650,00	69,75	21,89	14230,66	77,18	m3	81,22
				façade arrière		650,00	50,14	15,37	9991,44	57726,28	kg	65522,40
				mitoyens		650,00	180,41	26,31	17104,48	57,73	T	65,52
				cloisons int.		650,00	51,99	4,68	3041,66			
				murs porteurs int.		650,00	8,20	2,26	1469,66			
			blocs réfractaires									
			béton armé	balcon_Fav.		2400,00	0,28	0,06	133,44			
				dalle de cave		2400,00	6,95	0,59	1418,31			
			béton en chape	dalle terre plein		1700,00	28,60	2,43	4132,01			
			cimentage	façade avant		1700,00	54,64	0,55	928,86			
				façade arrière		1700,00	31,62	0,32	537,48			
			cimentage hydrofugi	Far. Cuisine		1700,00	4,65	0,05	79,00			
			enduit minéral+armé	Fav.		1400,00	54,65	0,55	765,10			
				Far.		1400,00	65,59	0,66	918,31			
				Mitoyens		1400,00	45,22	0,45	633,08			
			linteaux	façade avant		2400,00	1,28	0,33	798,24			
				façade arrière		2400,00	0,87	0,17	417,60			
			granito (pierre+sable	dalle terre plein		2200,00	27,20	0,41	897,51			
				dalle de cave		2200,00	6,95	0,10	229,43			
	TERRE CUITE/ARGILE	3	tuiles TC	toiture versant		1700,00	57,36	0,98	1657,76	0,98	m3	
	SABLE		sable stabilisé	cave		2000,00	21,44	2,14	4287,24	2,14	m3	
	CARRELAGES	3	grès cérame/faïence	sdb_Far.		2000,00	6,36	0,13	254,20	0,89	m3	
				sdb_mitoyen		2000,00	6,43	0,13	257,14	1775,95	kg	
				sdb_plancher int		2000,00	6,50	0,13	260,00			
				sdb_cloisons		2000,00	3,12	0,05	93,53			
				sdb_mur porteur		2000,00	1,79	0,03	53,64			
				dalle terre plein (cave)		2000,00	21,44	0,43	857,45			
	PIERRES	3	pierre bleue	seuils_Fav.		2686,00	0,10	0,02	53,72	0,02	m3	
				seuils_Far.		2686,00				53,72	kg	
				cheminées int.		2686,00						
			marbre	tablette_Fav.		2650,00						
				tablettes_Far.		2650,00						
				cheminées int.		2650,00						
	BITUME/ASPHALTE	3	étanchéité	toiture annexe						0,02	m3	
				toiture plate sdb		1150,00	12,44	0,02	21,45	21,45	kg	
PLÂTRE ET DERIVES		2	plaques de plâtre	toiture versant		1150,00	38,64	0,48	555,39		m3	10,29
				toiture versant _nouvelle str		1150,00	38,64	0,48	555,39		kg	11347,92
				toiture plate nouvelle annexe		1150,00	6,80	0,09	97,75		T	11,35
				toiture plate sdb		1150,00	6,22	0,12	143,00			
				Far. (cuisine)		900,00	4,65	0,05	41,82			
				Mitoyens (cuisine)		900,00	8,64	0,11	97,20			
				cloisons combles et trémies		900,00	111,27	1,39	1251,81			
				planchers		900,00	65,84	1,32	1185,06			
			plaques de plâtre à l	plancher cave		900,00	13,86	0,28	248,68			
			plafonnage	façade avant		1200,00	38,11	0,76	914,74			
				façade arrière		1200,00	20,99	0,42	503,87			
				mitoyens		1200,00	148,85	2,98	3572,41			
				cloisons int.		1200,00	98,60	1,48	1774,85			
				murs porteurs int.		1200,00	22,55	0,34	405,94			

BOIS ET DERIVES	PLEIN	2	lattage/contre-latta	toiture versant (existant)	600,00	3,23	0,08	46,50	10,86	m3	12,27
				toiture versant (existant)	600,00	2,68	0,09	51,49	7738,23	kg	8580,26
				toiture versant_renforcemer	600,00	5,11	0,08	46,02		T	8,58
				toiture plate sdb	600,00	0,32	0,01	6,17			
				toiture plate nouvelle annex	600,00	0,81	0,01	7,26			
				entretoise_planchers int.	600,00	0,96	0,17	103,68			
				faux-plafond_comble (sdd)	600,00	0,34	0,02	10,20			
				languettes_planchers int.	600,00	65,84	0,66	395,02			
			chevrons 5/5	cloisons combles (double-flu	600,00	2,65	0,13	79,50			
			chevrons 6/9	toiture versant	600,00	6,71	0,60	362,07			
			voliges 2,5/24	toiture versant_renforcemer	800,00	3,89	0,93	746,35			
				Far_châssis nouvelle annexe	800,00	1,24	0,06	49,60			
			voliges 2,5/3	toiture plate nouvelle annex	600,00	0,32	0,01	6,17			
			lambourdes 3,8/14	plancher rez (sur terre plein)	600,00	2,83	0,40	237,68			
				plancher rez (sur cave)	600,00	1,33	0,19	111,40			
			gîtes 7/15	mitoyens nouvelle annexe	800,00	2,21	0,15	123,98			
			gîtes 7/18	toiture versant_renforcemer	800,00	2,31	0,32	257,79			
				toiture plate nouvelle annex	800,00	0,19	0,03	26,96			
			gîtes 6/18	toiture annexe							
				toiture plate	800,00	1,29	0,23	185,24			
				plancher cave	800,00	2,38	0,43	343,01			
				planchers int.	800,00	12,21	2,20	1758,24			
			pannes 7/15 et 8/23	toiture versant	800,00	2,15	0,39	314,90			
				poutres_planchers int.	800,00	0,26	0,06	47,10			
				poutres_cheminées int.							
			planchers (pitch pine	plancher cave	600,00	13,86	0,28	165,78			
				planchers int.	600,00	72,34	1,45	868,04			
			planchers chêne ma	dalle sur terre plein	800,00	27,19	0,41	326,28			
				dalle sur cave	800,00	13,86	0,21	166,32			
			portes	menuiseries int.	600,00	12,95	0,58	346,15			
			châssis bois	vélux-toiture versant	800,00	1,27	0,09	69,02			
				façade avant	800,00	4,78	0,32	260,00			
				façade arrière	800,00	3,78	0,28	220,29			
	PANNEAUX		support étanchéité	toiture annexe							
				toiture plate sdb	700,00	6,22	0,11	78,34	1,41	m3	
			unalit	toiture versant_renforcemer	900,00	0,45	0,11	96,55	842,03	kg	
			poutres FJI membru	toiture plate annexe	700,00	1,59	0,06	43,37			
			poutres FJI âme OSB	toiture plate annexe	500,00	0,18	0,06	30,35			
			poutre kerto (LC)	toiture plate annexe	500,00	0,13	0,05	25,92			
			MDF	tablettes Fav.	800,00	0,08	0,03	21,98			
				tablettes Far.	800,00	0,07	0,02	15,80			
			OSB	plancher rez (sur terre plein)	500,00	27,19	0,49	244,71			
				plancher rez (sur cave)	500,00	13,86	0,25	124,74			
			multiplex	toiture plate nouvelle annex	700,00	6,96	0,13	87,70			
				plancher combles sdd	700,00	2,40	0,04	30,24			
				cloisons combles (double-flu	700,00	3,36	0,06	42,34			
	ESCALIER		escalier bois								
METAUX	FERREUX	2								m3	0,00
										kg	11,03
	NON-FERREUX		aluminium	seuils Fav.	2800,00	0,71	0,00	3,95			
				seuils Far.	2800,00	0,01	0,00	7,08			
VERRE	FLOTTE	2	dble vitrage/verre cl	toiture	2500,00	2,76	0,02	55,22		m3	0,18
				façade avant	2500,00	6,57	0,05	131,39		kg	458,12
				façade arrière	2500,00	8,69	0,10	244,87			
			sple vitrage/martelé	portes int.	2500,00	2,66	0,01	26,64			
	BRIQUES										
PLASTIQUES ET DERIVES	TUYAUX	2									
	ETANCHEITE		sous-toiture souple (	toiture versant	600,00	57,36	0,06	34,42		m3	0,21
			frein-vapeur intello+	toiture versant		61,39	0,01	8,59		kg	160,04
				toiture plate nouvelle annexe		6,80	0,02	0,95			
			EPDM	toiture plate sdb	1200,00	6,22	0,01	11,19			
				toiture plate nouvelle annex	1200,00	6,96	0,01	8,35			
			film polyéthylène	plancher rez (sur terre plein)	950,00	35,64	0,06	59,68			
				plancher rez (sur cave)	950,00	17,97	0,03	30,24			
				plancher rez (hall)	950,00	6,95	0,01	6,60			
	POLYCARBONATE		coupole	annexe							
ISOLANTS	ORGANIQUES NATUI	2	cellulose insufflée	toiture versant	40,00	45,42	10,90	436,00	20,87	m3	52,08
				toiture plate sdb	40,00	6,22	1,12	44,77	802,48	kg	1557,03
				toiture plate nouvelle annex	40,00	6,80	3,13	125,20		T	1,56
			cellulose en vrac	plancher rez (sur terre plein)	30,00	24,36	3,41	102,31			
				plancher rez (sur cave)	30,00	12,53	1,75	52,64			
			fibre de bois	mitoyen (annexe)	75,00	6,43	0,45	33,74			
				plancher rez (hall)	75,00	6,95	0,10	7,82			
	ORGANIQUES SYNTHETIC		mousse phénolique	toiture plate sdb	35,00	6,22	0,62	21,76	26,60	m3	
				toiture plate annexe	35,00	8,12	0,81	28,42	477,96	kg	
			EPS	Fav.	17,00	58,52	10,46	177,87			
				Far.	17,00	32,33	5,85	99,52			
				Mitoyens	17,00	47,15	8,85	150,39			
	MINERAUX NATURELS										
	MINERAUX SYNTHETIQU		laine de verre	toiture	60,00	57,62	4,61	276,59	4,61	m3	
									276,59	kg	
TERRE		3									
TOTAL MATIERES										**m3**	**156,25**
										kg	**87636,80**
										T	**87,64**

ANNEXES PARTIE 4

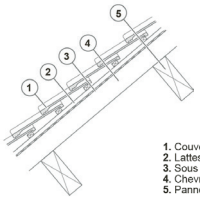
Dans cette partie, les annexes sont reprises pour illustrer les résultats obtenus pour les écobilans des parois ainsi que dans le cadre de l'évaluation de la valorisabilité à partir de l'outil excel développé à cet effet. Un exemple de feuille d'encodage est proposé ainsi que les évaluations par parois en poids et en volume. La valorisabilité est ensuite présentée parralèlement à la valorisation effective actuelle des parois.Enfin, pour permettre une lecture plus globale, une synthèse des résultats de l'évaluation de la valorisabilité et de l'écobilan des parois est développée par composante.

4.1 PAROIS TYPES: récapitulatif



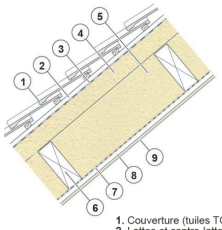
Composante Toiture à versant (Tv)

Tv.exist



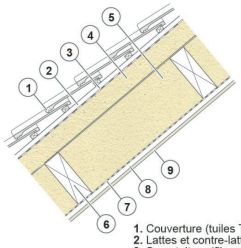
1. Couverture (tuiles TC)
2. Lattes et contre-lattes
3. Sous - toiture (film P.E.)
4. Chevrons bois
5. Pannes bois

Tv.exist+



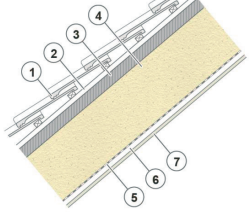
1. Couverture (tuiles TC) existante
2. Lattes et contre-lattes existantes
3. Sous-toiture (film souple) existant
4. Chevrons existants + isolant cellulose
5. Isolant cellulose
6. Pannes existantes
7. Frein vapeur Intello
8. Lattage bois
9. Plaques en carton-plâtre

Tv.neuf//exist+



1. Couverture (tuiles TC)
2. Lattes et contre-lattes
3. Sous-toiture (film souple)
4. Chevrons + isolant cellulose
5. Isolant cellulose
6. Pannes
7. Frein vapeur Intello
8. Lattage bois
9. Plaques en carton-plâtre

Tv.neuf

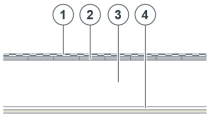


1. Couverture (tuiles TC)
2. Lattes et contre-lattes
3. Sous-toiture (panneau en fibre de bois)
4. Structure (FJI) et isolant cellulose
5. Frein-vapeur intello
6. Lattage bois
7. Plaques en carton-plâtre

©

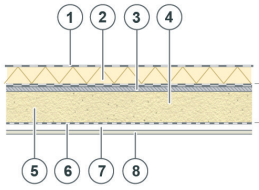
Composante Toiture plate (Tp)

Tp.exist



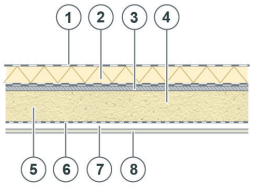
1. Étanchéité bitumineuse
2. Support en bois plein (avec voligeage de pente)
3. Gîtes en bois
4. Plaque de fibro-plâtre

Tp.exist+



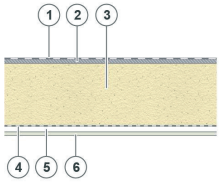
1. Étanchéité EPDM
2. Isolant (résol)
3. Étanchéité existante
4. Support bois existant
5. Gîtes existantes + isolant cellulose
6. Frein-vapeur Intello
7. Lattage bois
8. Plaques en carton-plâtre

Tp.neuf//exist+



1. Étanchéité EPDM
2. Isolant (résol)
3. Étanchéité
4. Support bois
5. Gîtes + isolant cellulose
6. Frein-vapeur Intello
7. Lattage bois
8. Plaques en carton-plâtre

Tp.neuf

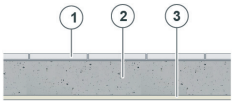


1 Étanchéité (EPDM)
2 Panneau multiplex
3 Structure FJI + isolant cellulose
4 Frein-vapeur intello
5 Lattage bois
6 Plaques en carton-plâtre

©

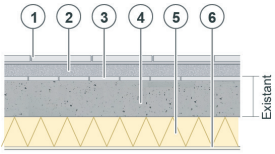
Composante Dalle sur cave (Dc)

Dc.exist



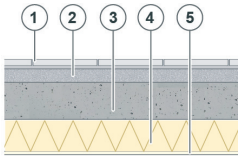
1. Finition (carrelage sur chape ciment)
2. Dalle béton armé
3. Plaque de fibro-plâtre

Dc.exist+



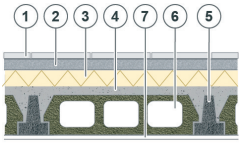
1. Carrelage grès cérame
2. Chape ciment
3. Finition existante (carrelage sur chape)
4. Dalle béton armé existante
5. Isolant (PUR)
6. Plaque carton-plâtre

Dc.neuf//exist+



1. Carrelage grès cérame
2. Chape ciment
3. Dalle béton armé
4. Isolant (PUR)
5. Plaque carton-plâtre

Dc.neuf

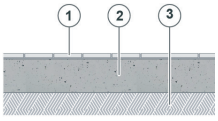


1. Carrelage grès cerame
2. Chape ciment
3. Isolant PUR
4. Chape de compression
5. Poutrain béton armé
6. Claveaux (XPS)
7. Plaque de carton plâtre

©

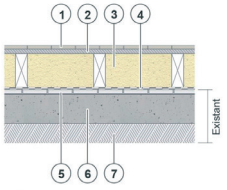
Composante Dalle sur terre-plein (Dtp)

Dtp.exist



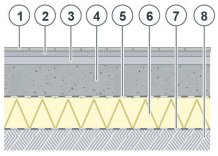
1. Finition (carrelage) sur chape ciment
2. Dalle béton armé
3. Terre-plein (sable)

Dtp.exist+_V1



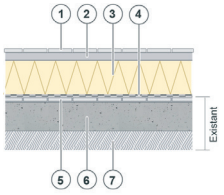
1. Plancher chêne
2. Panneau OSB
3. Lambourdes bois + isolant (cellulose)
4. Étanchéité (PE)
5. Finition existante
6. Dalle béton existante
7. Terre-plein (sable)

Dtp.neuf_V1



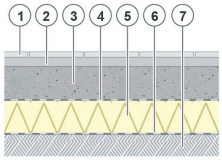
1. Plancher chêne
2. Panneau OSB
3. Chape ciment
4. Dalle béton armé
5. Étanchéité (PE)
6. Isolant (Liège)
7. Étanchéité PE
8. Terre-plein (sable)

Dtp.exist+_V2



1. Carrelage grès cerame
2. Chape ciment
3. Isolant PUR
4. Étanchéité (PE)
5. Carrelage existant
6. Dalle béton armé existante
7. Terre-plein (sable)

Dtp.neuf_V2



1. Finition (carrelage grès cérame)
2. Chape ciment
3. Dalle béton armé
4. Étanchéité (PE)
5. Isolant (PUR)
6. Étanchéité (PE)
7. Terre-plein (sable)

©

4.2. EXEMPLE DE FEUILLE EXCEL POUR L'ENCODAGE (évaluation de la valorisabilité)

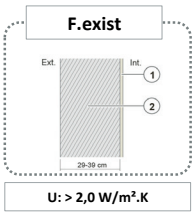
Objectifs																				
													(1) Prévention	(2) Réemploi	(3) Recyclage	(4) Compostage	(5) Incinération	M	L	P
Phases		PARAMETRES	caractérisation des paramètres										Degré de valorisabilité					Echelle d'anal		
Cycle de vie	Fabrication	Matières premières	Ressources	types	matière recyclée															
					naturelles R															
					naturelles non-R															
					synthétique non-R															
				origine	locale															
					européenne													X		
					mondiale															
				disponibilité	rare								justifié d'autant							
					quant.limitées								plus leur réemploi							
					quant.suffisantes								et recyclage							
					quant.importantes															
			Quantité matière recyclée [%]	faible à nulle	<30															
				moyenne	30-60													X		
				importante	>60															
		Nature	homogène												1					
			composite	hétérogène	de catégorie similaire										1					
				(mélangé	de catégorie différente										0			X		
				multicouche	de catégorie similaire										0,5					
					de catégorie différente										0					
		Catégorie de matières (Famille/Type)	inertes	béton																
				ciment																
				terre-cuite																
				faiences et grès cérame																
				pierres																
				asphalte/bitume																
				sable																
			bois et dérivés	massif	non-traité															
					traité															
				massif LC	non-traité															
					traité															
				panneaux																
			métaux	ferreux																
				non-ferreux																
			liants minéraux/ mortiers et dérivés	enduits																
				mortiers														X		
				plaques																
				blocs																
			verre	simple																
				double vitrage	sans films/traitement particuliers															
					avec films/traitement particuliers																
			matières plastiques et dérivés	thermoplastiques																
				thermodurcissables																
				élastomères																
			isolants	naturels	organiques (cellulose, fdb, liège,...)															
					inorganiques/minéraux (perlite, verre expansé,...)																
				synthétiques	organiques (EPS, XPS, PUR,...)															
					inorganiques/minéraux (laine de verre, laine de roche,...)																
			terre	formé																
				non-formé																
			dangereux																	
		Formes	vrac										1	1						
			standardisé (dimensions de matériaux standard)										0,5	1				X		
			non-standardisé	sur mesure									1	0,5						
				autres									0	0,5						
		Dimensions/Echelles/ Modularité	petite (ou vrac)										1	1						
			moyenne										0,5	0,5				X		
			grande										0	0						
		Densité/masse volumique	faible à nulle	≤ 500 kg/m³									1							
			moyenne	de 500 à 1000 kg/m³									0,5					X		
			élevée	≥1000 kg/m³									0							
		Résistance aux usages répétés	élevée										1	1						
			moyenne										0,5	0,5				X		
			faible à nulle										0	0						

Objectifs						(1) Prévention	(2) Réemploi	(3) Recyclage	(4) Compostage	(5) Incinération	M	L	P
Phases		**PARAMETRES**	**caractérisation des paramètres**			**Degré de valorisabilité**					**Echelle d'anal**		
Cycle de vie	Mise en œuvre	Préfabrication possible	oui			1						X	X
			non ou difficile			0							
		Situation dans Layers (Fonctions)	Ls	durée de vie estimée >50 ans / comprend les fonctions suivantes: structure portante parfois isolant, pare-vapeur							X		
			Le	durée de vie estimée 30-50 ans / comprend les fonctions suivantes: fermeture, étanchéité à l'air/eau, parfois isolation									
			Li	durée de vie estimée 10 à 30 ans / comprend les fonctions suivantes: finition intérieure, souvent pare-vapeur et parfois									
		Assemblages / Connexions	types	secs/mécaniques	sans fixation (vrac,		1				X	X	
					avec fixations réversibles (boulons,...)		1						
					avec fixations semi-réversibles (clous, chevilles,...)		0,5						
				humides / par collage	dont $R_{joints}<R_{matériaux}$		0,5						
					dont $R_{joints}\geq R_{matériaux}$ ou colles		0						
					solidarisation sans éléments tiers (plafonnage, ...)		0						
			nombre d'assemblages de type différent	faible	1 à 2		1						
				moyen	3		0,5					X	X
				important	> 3		0						
		Système constructif	simple ou couramment usité			1	1						
			moyen ou parfois usité			0,5	0,5					X	X
			complexe ou rarement usité			0	0						
	Vie en œuvre	Durée de vie	importante	>50			1						
			moyenne	30-50			0,5				X		
			faible	<30			0						
		Remplacement (sur 50 ans)	peu fréquent	<1		1							
			moyennement fréquent	1		0,5					X		
			fréquent	≥2		0							
		Indépendance (entre couche)	importante		connexions sèches (sans fixation ou	1	1	1					
			moyenne		connexions sèches semi-réversibles OU connexions humides: Rjoints<Rmatériaux	0,5	0,5	0,5				X	
			faible voir nulle		connexions humides: colles, Rjoints≥Rmatériaux, solidarisation sans élmt tiers	0	0	0					
		Accessibilité des connexions	bonne			1	1						
			moyenne			0,5	0,5				X?	X	
			mauvaise voire nulle (ou assemblage humide)			0	0						
		Compatibilité durée de vie // Situation dans layers	bonne		Le// durée de vie moyenne - Ls // durée de vie importante - Li // durée de vie faible	1							
			moyenne		durée de vie différentes au sein d'un même layer	0,5					X	X?	
			mauvaise		durée de vie incompatible avec celle attendure par le layer (faible pour structure)	0							
		Besoins en entretien/maintenance	peu fréquent		structure	1							
			moyennement fréquent		Le, Li: surfaces de finition réclamant peu d'entretien (carrelages, ...)	0,5					X		
			fréquent		Le, Li: surfaces de finition réclamant des entretiens fréquents (plancher bois, ...)	0							

Objectifs						(1) Prévention	(2) Réemploi	(3) Recyclage	(4) Compostage	(5) Incinération	M	L	P
Phases			**PARAMETRES**	**caractérisation des paramètres**		**Degré de valorisabilité**					**Echelle d'anal**		
Cycle de vie	Fin de cycle	Général	Fractions	Classe et code eural	3						X		
					2								
					1								
			Nombre de fractions (regroupées par catégorie de	≠ faible	< 3	1	1	1				X	X
				moyen	4≤ x ≤6	0,5	0,5	0,5					
				important	> 6	0	0	0					
			Qualité potentielle des fractions (en fonction du type d'assemblage)	bon	désassemblage aisé	1	1	1			X		
				moyen à faible	désassemblage moyennement à peu aisé	0,5	0,5	0,5					
				mauvais	désassemblage difficile voire impossible (démolition nécessaire)	0	0	0					
		spécifique: Réemploi	Diagnostic	Adapté au réemploi?	oui (pouvant comprendre remise en état et redime		1						
					peut-être moyennant transformation importante p		0,5						
					non		0						
			Possibilités hors site	Filières (Réemployé?)	existantes		1				X		
					potentielles mais peu développées		0,5						
					inexistantes		0						
		spécifique: Recyclage	Diagnostic	Recyclable?	oui	proportion d'impureté moyenne			1		X		
						proportion d'impureté faible à nulle			0,5				
					non				0				
			Recyclage hors site	Filières (Recyclé?)	existantes bien installées				1		X		
					en développement (existantes mais encore peu répandues) ou recylage uniquement pour les chutes de production (peu				0,5				
					inexistantes actuellement (au stade de recherche ou non connues)				0				
		autres valorisations (à éviter si possible)	Compostable + valorisation énergétique	oui					1		X		
				peut-être					0,5				
				non					0				
			Incinérable + valorisation énergétique	forte valeur calorifique	PCS > 20 MJ/kg					1	X		
				moyenne à faible valeur calorifique	PCS < 20 MJ/kg					0,5			
				non incinérable						0			
					total maximum	13	13	6	1	1			

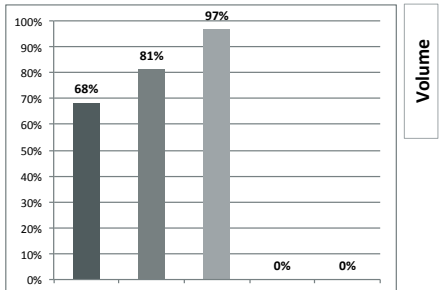
4.3. VALORISABILITÉ PAR PAROI: poids / volume

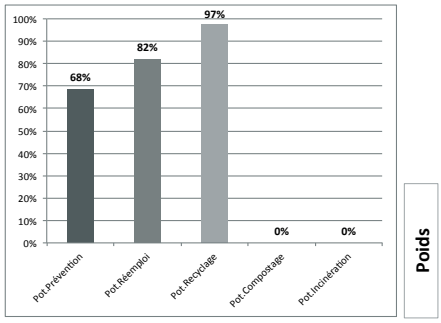
Composante Façade (F)

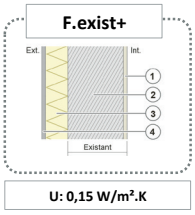


U: > 2,0 W/m².K

F.exist		Volume	Poids
Couche 1			
Couche 2			
Couche 3	**Brique TC**	**96%**	**96,8%**
Couche 4	**Mortier b.**		
Couche 5	-		
Couche 6	-		
Couche 7	-		
Couche 8	Enduit plâtre	4%	3,2%
Somme		0,408 m³	670,95 kg

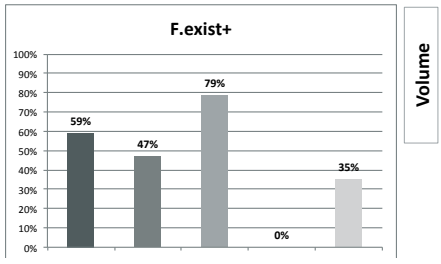


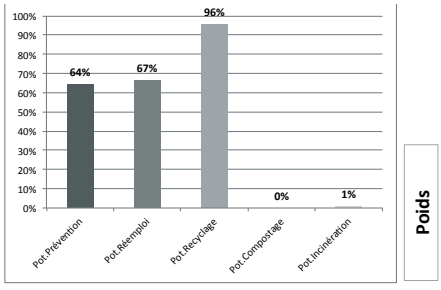


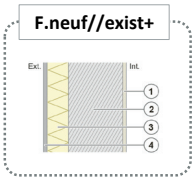


U: 0,15 W/m².K

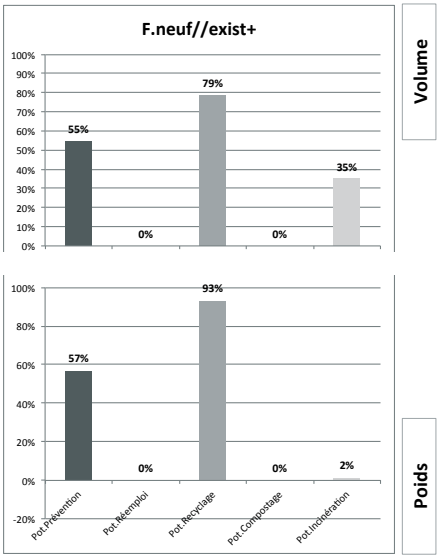
F.exist+		Volume	Poids
Couche 1	Enduit synth	1%	1%
Couche 2	Isolant EPS	35%	1%
Couche 3	**Brique TC**	**61%**	**95%**
Couche 4	**Mortier b.**		
Couche 5	-		
Couche 6	-		
Couche 7	-		
Couche 8	Enduit plâtre	3%	3%
Somme		0,633 m³	683,55 kg

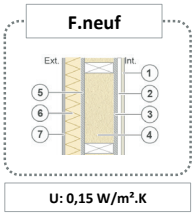




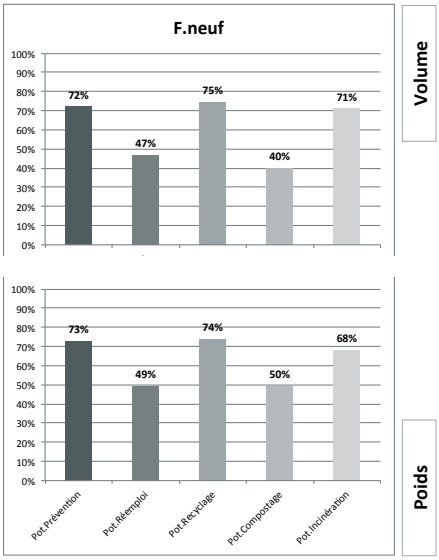


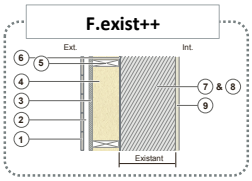
F.neuf//exist+		Volume	Poids
Couche 1	Enduit synth	1%	1,3%
Couche 2	Isolant EPS	35%	1,5%
Couche 3	Blocs TC	61%	92,4%
Couche 4	Mortier ciment		
Couche 5	-		
Couche 6	-		
Couche 7	-		
Couche 8	Enduit plâtre	3%	4,8%
Somme		0,633 m³	451,5 kg





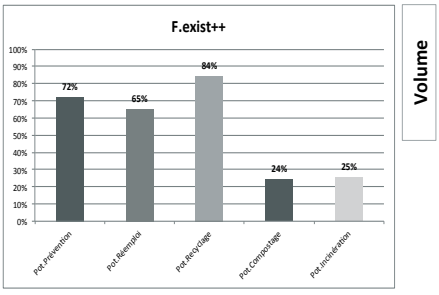
F.neuf		Volume	Poids
Couche 1	Enduit synth	1%	9,8%
Couche 2	Eps	25%	3,9%
Couche 3	OSB	6%	14,7%
Couche 4	Cellulose	48%	7,4%
Couche 5	Poutre bois	9%	28,2%
Couche 6	OSB	6%	14,7%
Couche 7	Lattage bois	1%	2,9%
Couche 8	Plaque carton-plâtre	4%	18,4%
Somme		0,316 m³	61,27 kg

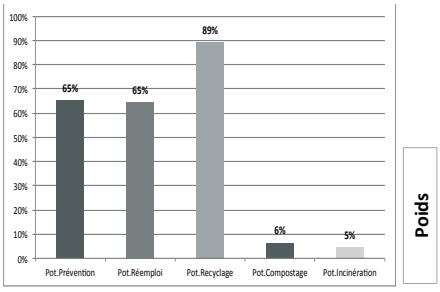




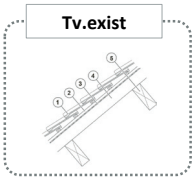
U: 0,15 W/m².K

F.exist++		Volume	Poids
Couche 1	Bardage bois	2,81%	1,66%
Couche 2	Lattage bois	0,42%	0,25%
Couche 3	Pare-pluie (fdb +bitume)	2,53%	0,75%
Couche 4	Isolant cellulose	34%	1%
Couche 5	Poutre bois	2,56%	1,5%
Couche 6	Étanchéité PE	0,03%	0,02%
Couche 7	**Brique TC**	**54,84%**	**89,82%**
Couche 8	**Mortier b.**		
Couche 9	Enduit argile	2,81%	5%
Somme		0,7112 m³	722,89 kg



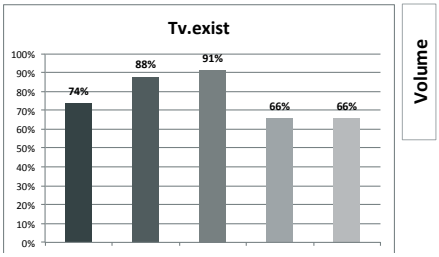


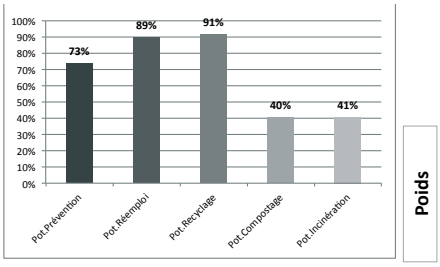
Composante Toiture à versant (Tv)



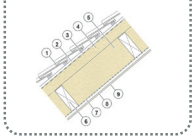
U: >5,5 W/m².K

Tv.exist		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Tuile TC	34%	59,3%
Couche 2	Lattage bois	6,8%	4,2%
Couche 3	Ss-toiture PE	0,3%	0,3%
Couche 4	Chevrons bois	27,6%	16,9%
Couche 5	Pannes bois	31,3%	19,3%
Somme		0,0588 m³	57,33 kg



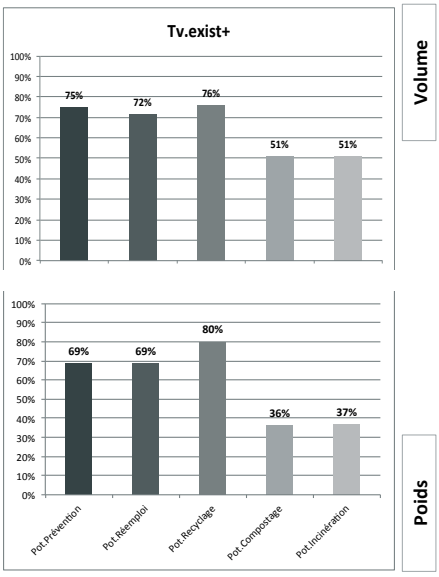


Tv.exist+

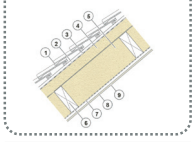


U: 0,16 W/m².K

Tv.exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	**Tuile TC**	**5,6%**	**43,4%**
Couche 2	**Lattage bois**	**1,1%**	**3,1%**
Couche 3	**Ss-toiture PE**	**0,05%**	**0,2%**
Couche 4	**Chevrons bois**	**4,5%**	**12,4%**
Couche 5	**Pannes bois**	**5,1%**	**14,1%**
Couche 6	Is. cellulose	79,6%	10,9%
Couche 7	Frein-Vapeur (film PE)	0,05%	0,2%
Couche 8	Lattage bois	0,5%	1,4%
Couche 9	Plaque c-p	3,5%	14,3%
Somme		0,3587 m³	78,39 kg

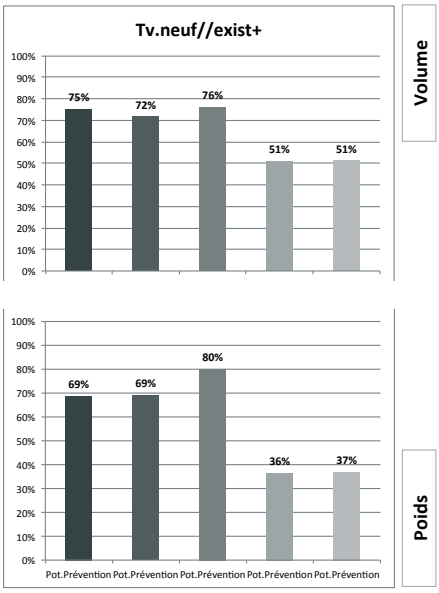


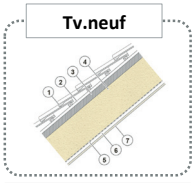
Tv.neuf//exist+



U: 0,16 W/m².K

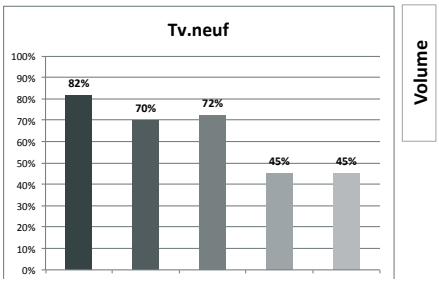
Tv.neuf//exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Tuile TC	5,6%	43,4%
Couche 2	Lattage bois	1,1%	3,1%
Couche 3	Ss-toiture PE	0,05%	0,2%
Couche 4	Chevrons bois	4,5%	12,4%
Couche 5	Pannes bois	5,1%	14,1%
Couche 6	Is. cellulose	79,6%	10,9%
Couche 7	Frein-Vapeur (film PE)	0,05%	0,2%
Couche 8	Lattage bois	0,5%	1,4%
Couche 9	Plaque c-p	3,5%	14,3%
Somme		0,3587 m³	78,39 kg

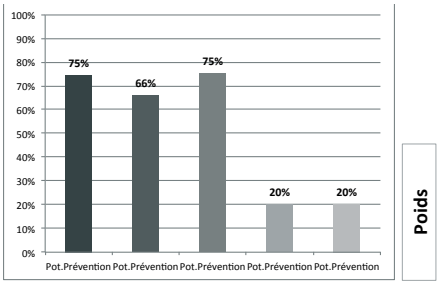




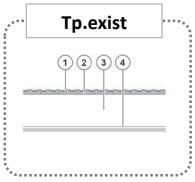
U: 0,16 W/m².K

Tv.neuf		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Tuile TC	6,96%	48,5%
Couche 2	Lattage bois	1,04%	3,4%
Couche 3	Ss-toiture Fdb	17,39%	11,4%
Couche 4	Structure FJI	3,99%	10,8%
Couche 5	Is. cellulose	65,57%	8,1%
Couche 6	Frein-Vapeur (film PE)	0,07%	0,2%
Couche 7	Lattage bois	0,63%	1,5%
Couche 8	Plaque c-p	4,35%	16,1%
Somme		0,2875 m³	70,11 kg



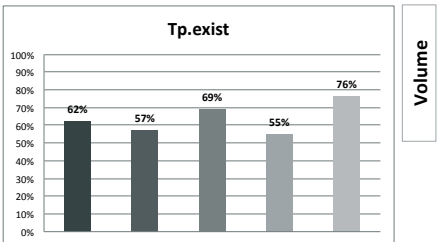


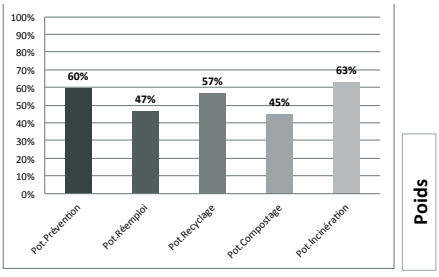
Composante Toiture plate (Tp)

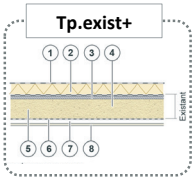


U: >5,5 W/m².K

Tp.exist		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Étanchéité bitumineuse	0,9%	1,5%
Couche 2	Support bois	41,5%	33,9%
Couche 3	Gîtes bois	34%	27,7%
Couche 4	Plaque fibro-plâtre	23,6%	36,9%
Somme		0,053 m³	38,96 kg

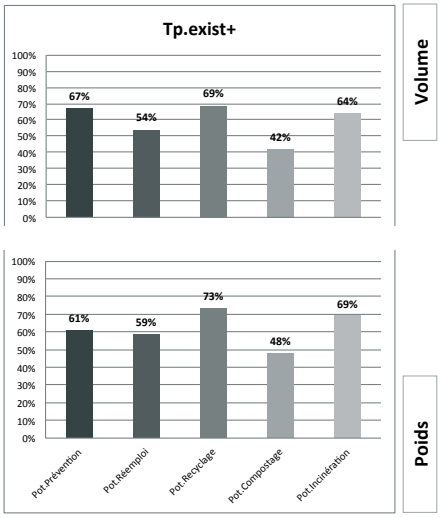


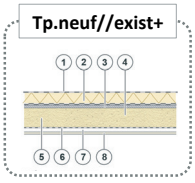




U: 0,16 W/m².K

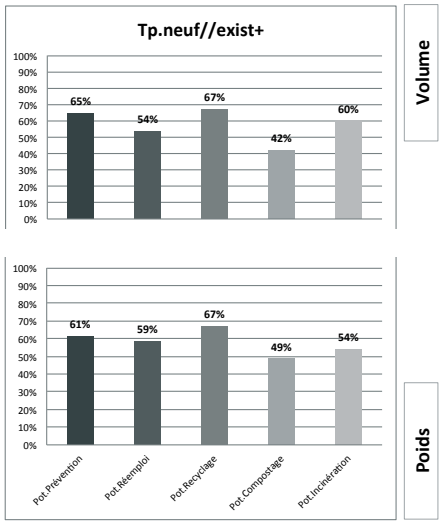
Tp.exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Étanch.EPDM	0,1%	0,5%
Couche 2	Isolant résol	18,7%	4%
Couche 3	**Étanchéité bitumineuse**	0,2%	1,3%
Couche 4	**Support bois**	8,2%	29,8%
Couche 5	**Gîtes bois**	6,7%	24,4%
Couche 6	Is.cellulose	60,5%	11%
Couche 7	Frein-Vapeur (film PE)	0,1%	0,4%
Couche 8	Lattage bois	0,9%	3,2%
Couche 9	Plaque c-p	4,6%	25,4%
Somme		0,2678 m³	44,29 kg

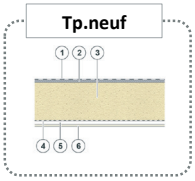




U: 0,16 W/m².K

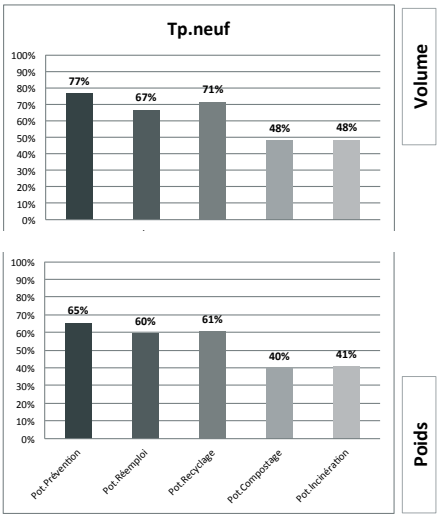
Tp.neuf//exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Étanch.EPDM	0,1%	0,6%
Couche 2	Isolant résol	18,7%	4,2%
Couche 3	Support OSB	8,2%	26,5%
Couche 4	Gîtes bois	6,7%	26%
Couche 5	Is.cellulose	60,6%	11,7%
Couche 6	Frein-Vapeur (film PE)	0,1%	0,4%
Couche 7	Lattage bois	0,9%	3,5%
Couche 8	Plaque c-p	4,7%	27,1%
Somme		0,2673 m³	41,51 kg



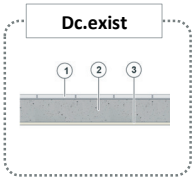


U: 0,16 W/m².K

Tp.neuf		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Étanch.EPDM	0,1%	0,5%
Couche 2	Support multiplex	8,5%	32,4%
Couche 3	Structure FJI	7%	25,8%
Couche 4	Is.cellulose	78,1%	12,8%
Couche 5	Frein-Vapeur (film PE)	0,1%	0,4%
Couche 6	Lattage bois	1,4%	4,5%
Couche 7	Plaque c-p	4,8%	23,6%
Somme		0,2585 m³	47,59 kg

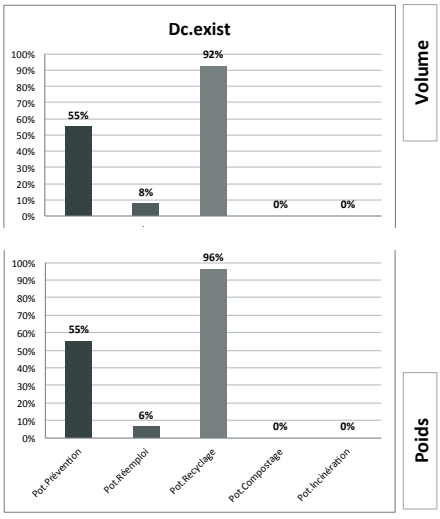


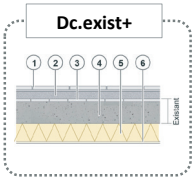
Composante Dalle sur cave (Dc)



U: 3,3 W/m².K

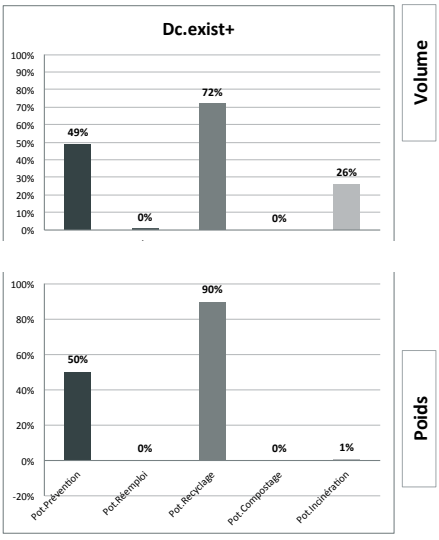
Dc.exist		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Carrelage grès cérame	9,3%	7,9%
Couche 2	Chape	8,1%	5,8%
Couche 3	Dalle BA	74,8%	82,5%
Couche 4	Plaque fibro-plâtre	7,8%	3,8%
Somme		0,1605 m³	380,4 kg

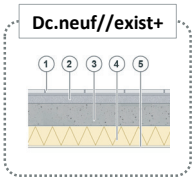




U: 0,28 W/m².K

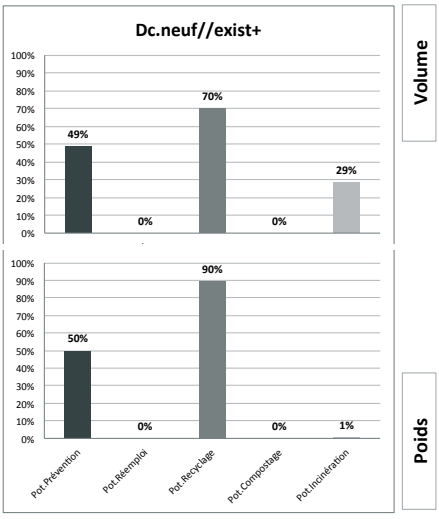
Dc.exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Carrelage	4,9%	6%
Couche 2	Mortier colle	0,3%	0,3%
Couche 3	Chape	16,3%	17%
Couche 4	**Carrelage grès cérame**	4,9%	6%
Couche 5	**Chape**	4,2%	4,4%
Couche 6	**Dalle BA**	39%	63%
Couche 7	Mortier colle	0,3%	0,3%
Couche 8	Isolant PUR	26%	0,7%
Couche 9	Plaque c-p	4,1%	2,3%
Somme		0,3075 m³	498,67 kg



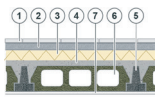


U: 0,28 W/m².K

Dc.neuf//exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Carrelage	5,4%	6,7%
Couche 2	Mortier colle	0,35%	0,4%
Couche 3	Chape	17,9%	19%
Couche 4	Dalle BA	42,9%	70,3%
Couche 5	Mortier colle	0,35%	0,4%
Couche 6	Isolant PUR	28,6%	0,7%
Couche 7	Plaque c-p	4,5%	2,5%
Somme		0,2795 m³	446,57kg

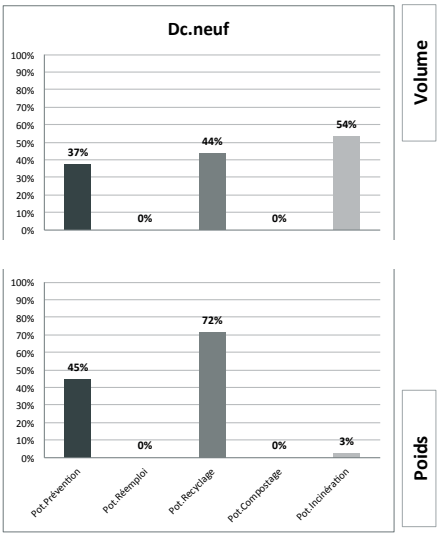


Dc.neuf



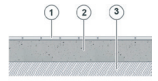
U: 0,28 W/m².K

Dc.neuf		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Carrelage	4,8%	12,7%
Couche 2	Mortier colle	0,3%	0,7%
Couche 3	Chape	15,9%	35,85%
Couche 4	Isolant PUR	20,7%	1,1%
Couche 5	Chape de compression	15,9%	35,85%
Couche 6	Poutrains BA	5,6%	6%
Couche 7	Claveaux XPS	32,8%	1,5%
Couche 8	Plaque c-p	4%	6,3%
Somme		0,31422 m³	237,07 kg



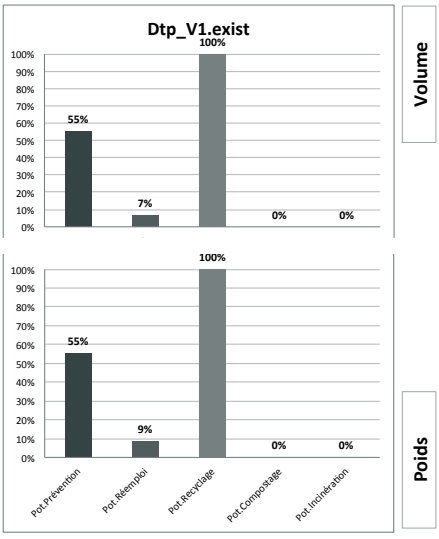
Composante Dalle sur terre-plein (Dtp)

Dtp_V1.exist

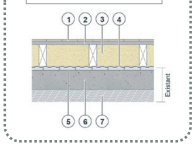


U: 3,4 W/m².K

Dtp_V1.exist		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Carrelage grès cérame	10,1%	8,2%
Couche 2	Chape	8,8%	6%
Couche 3	Dalle BA	81,1%	85,8%
Couche 4	Terre-plein		
Somme		0,148 m³	366,02 kg

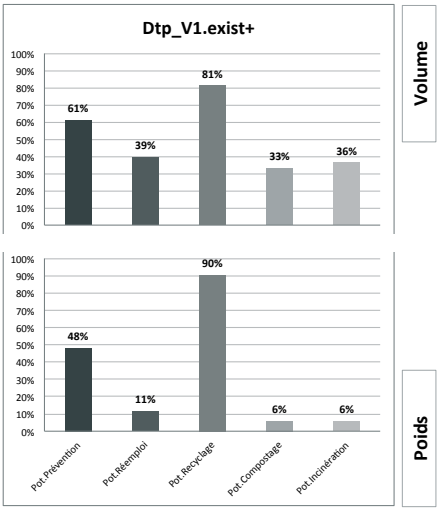


Dtp_V1.exist+

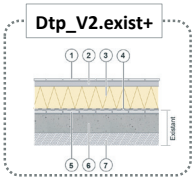


U: 0,28 W/m².K

Dtp_V1.exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Parquet chêne	4,35%	2,80%
Couche 2	Panneau OSB	6,40%	0,30%
Couche 3	Lambourde bois	4,60%	2,45%
Couche 4	Is. cellulose	41,70%	1,10%
Couche 5	Voile PE	0,10%	0,10%
Couche 6	**Carrelage grès cérame**	4,35%	7,65%
Couche 7	**Chape**	3,80%	5,60%
Couche 8	**Dalle BA**	34,70%	80%
Couche 9	**Terre-plein**		
Somme		0,3454 m³	392,22 kg

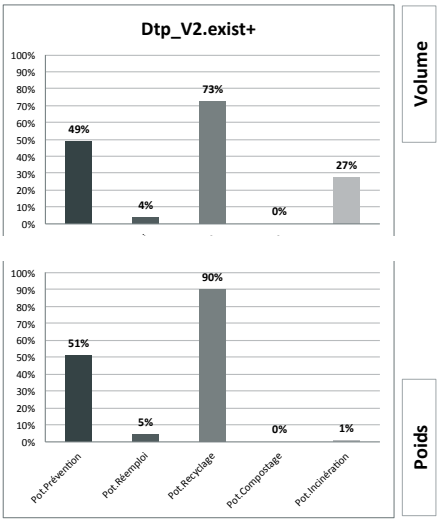


Dtp_V2.exist+

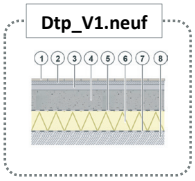


U: 0,28 W/m².K

Dtp_V2.exist+		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Carrelage	5,1%	6,15%
Couche 2	Mortier colle	0,3%	0,3%
Couche 3	Chape	17%	17,5%
Couche 4	Isolant PUR	27,2%	0,65%
Couche 5	Voile PE	0,1%	0,1%
Couche 6	**Carrelage grès cérame**	5,1%	6,2%
Couche 7	**Chape**	4,4%	4,5%
Couche 8	**Dalle BA**	40,8%	64,6%
Couche 9	**Terre-plein**		
Somme		0,2944 m³	486,2 kg

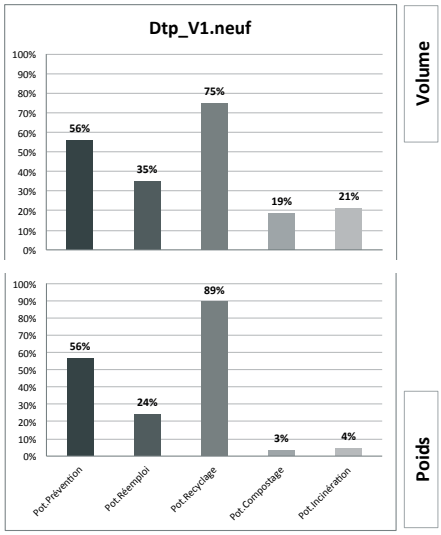


Dtp_V1.neuf

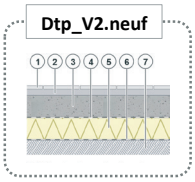


U: 0,28 W/m².K

Dtp_V1.neuf		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Parquet chêne	3,30%	1,70%
Couche 2	Panneau OSB	4,80%	1,50%
Couche 3	Chape	10,95%	11,90%
Couche 4	Dalle BA	32,80%	54,80%
Couche 5	Voile PE	Comptabilisé dans couche 7	
Couche 6	Isolant liège	26,20%	2%
Couche 7	Voile PE (x3)	0,10%	0,10%
Couche 8	Sable (sur tp)	21,85%	28%
Somme		0,4576 m³	715,37 kg

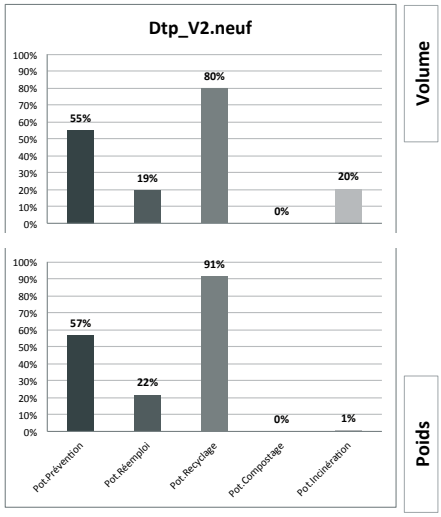


Dtp_V2.neuf



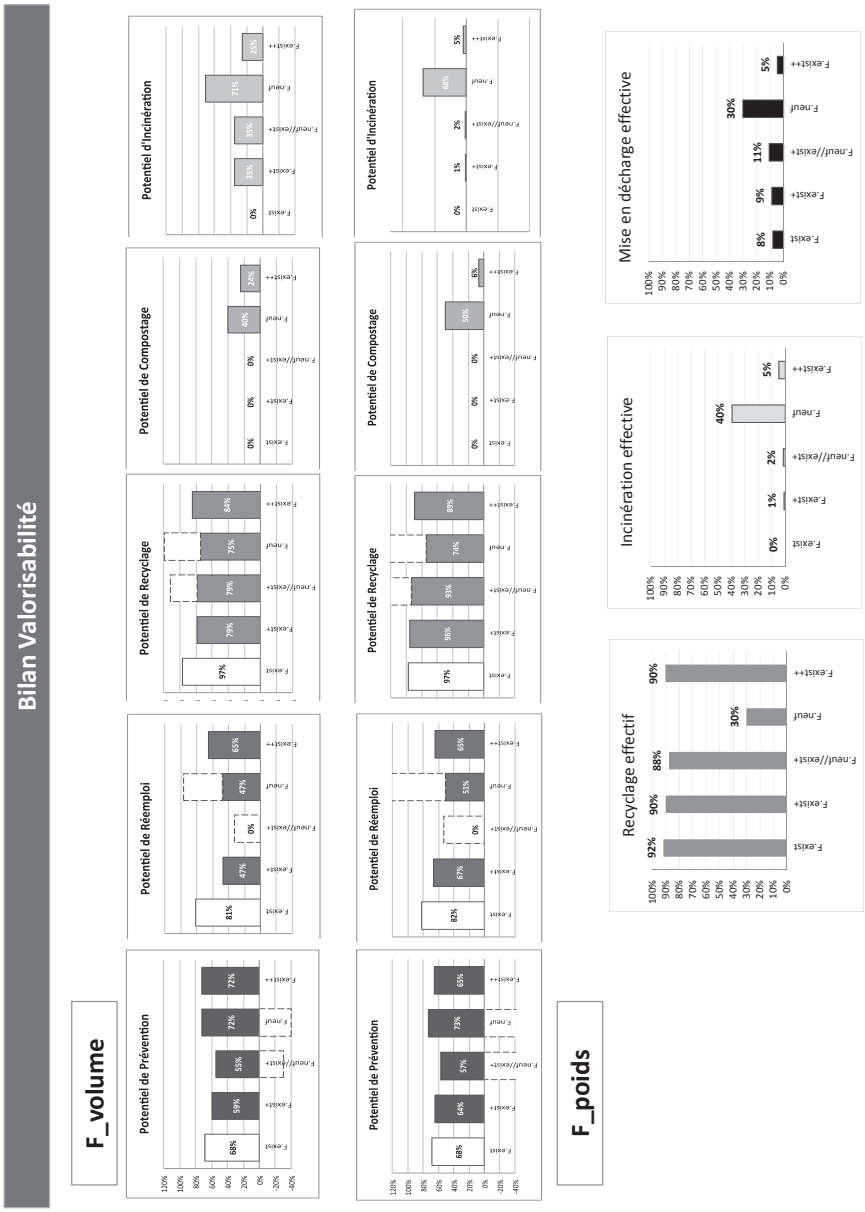
U: 0,28 W/m².K

Dtp_V2.neuf		Volume/ m²	Poids/ m²
Couche 1	Carrelage	3,8%	4,2%
Couche 2	Mortier colle	0,25%	0,2%
Couche 3	Chape	12,6%	11,9%
Couche 4	Dalle BA	37,8%	55,1%
Couche 5	Voile PE		
Couche 6	Isolant PUR	20,2%	0,4%
Couche 7	Voile PE	0,15%	0,1%
Couche 8	Sable (sur tp)	25,2%	28,1%
Somme		0,3966 m³	712,77 kg

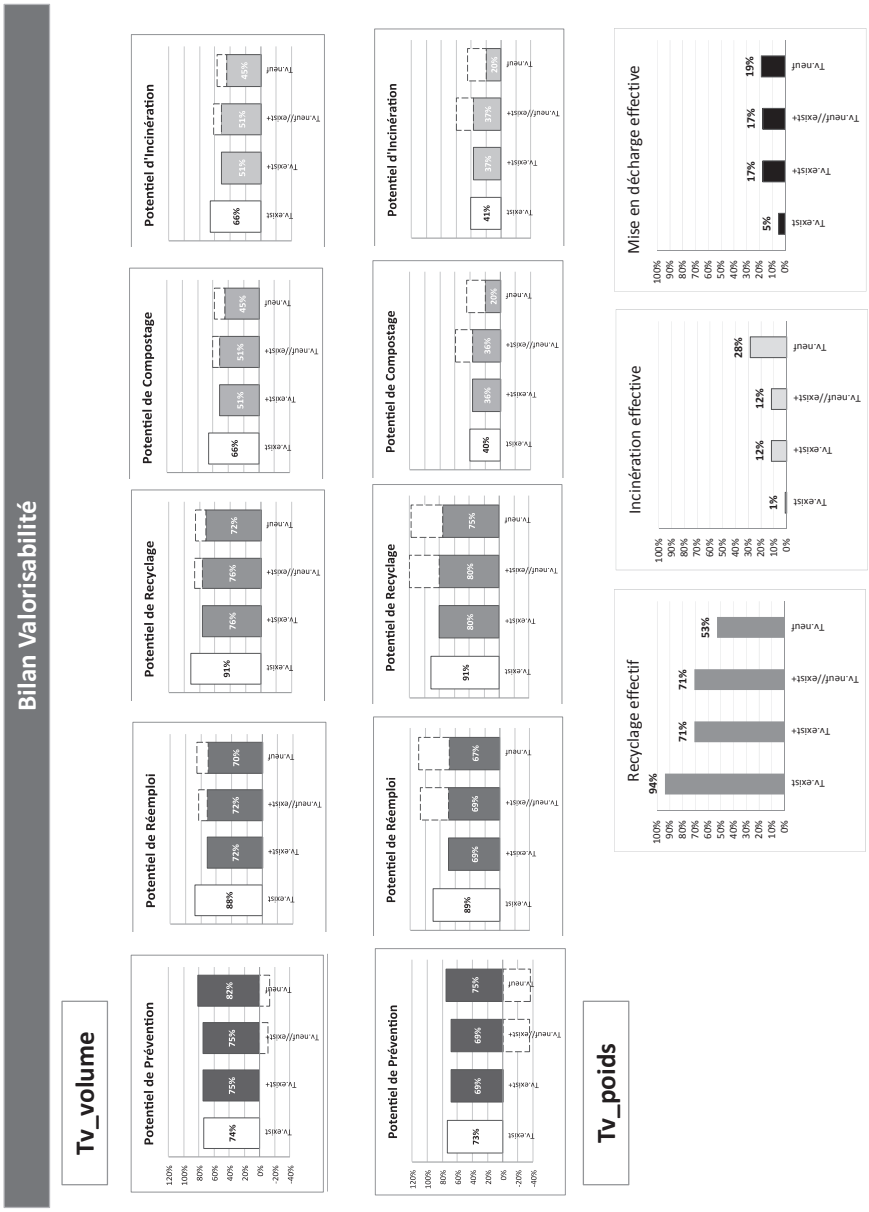


4.4. VALORISABILITÉ // VALORISATION EFFECTIVE

Composante Façade (F)



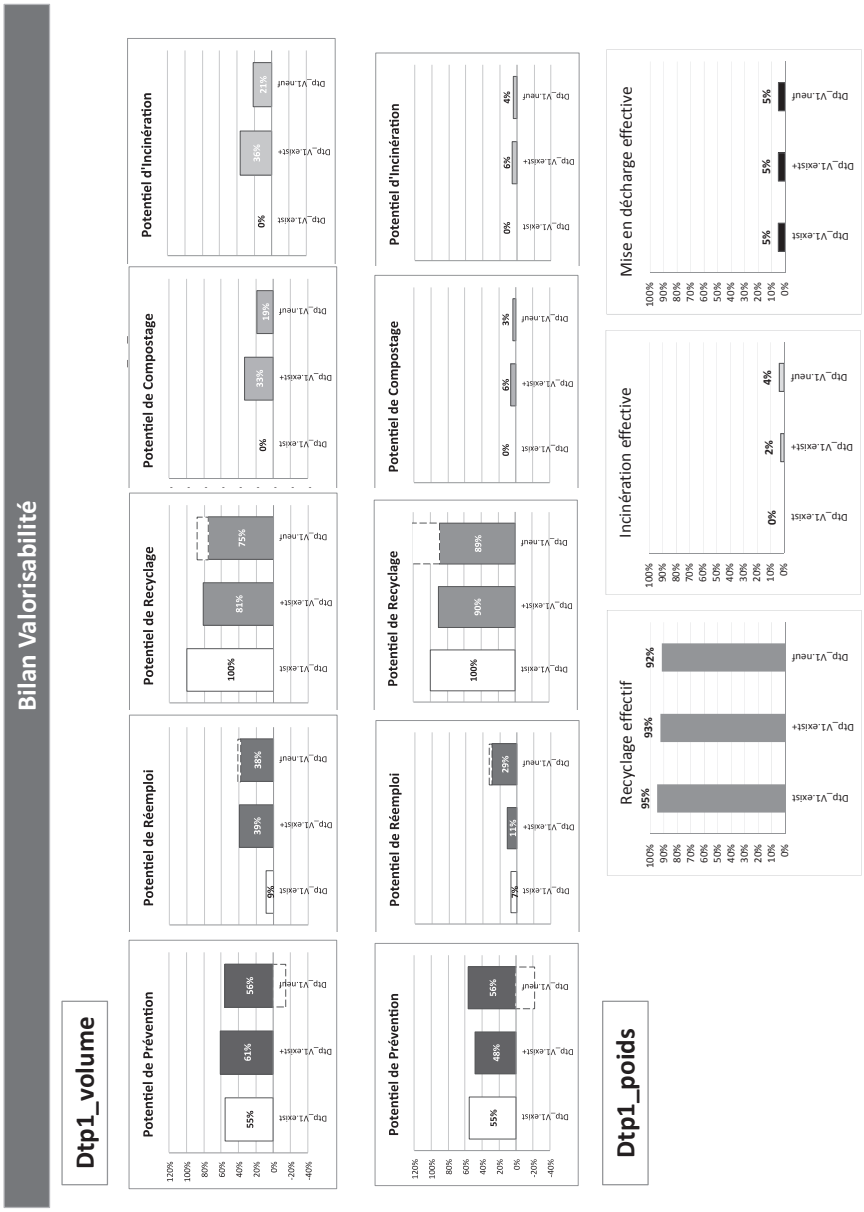
Composante Toiture à versant (Tv)



Composante Toiture plate (Tp)

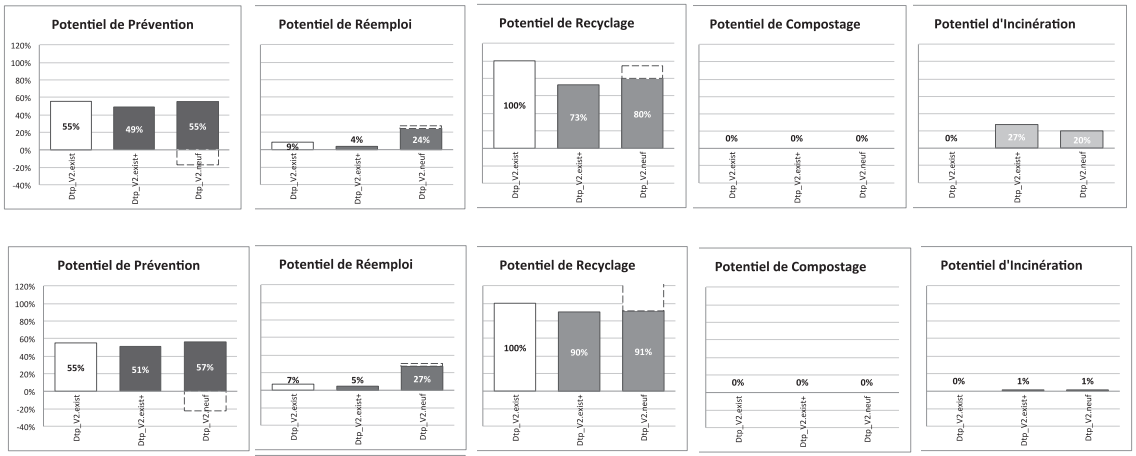
Composante Dalle sur cave (Dc)

Composante Dalle sur terre-plein (Dtp)

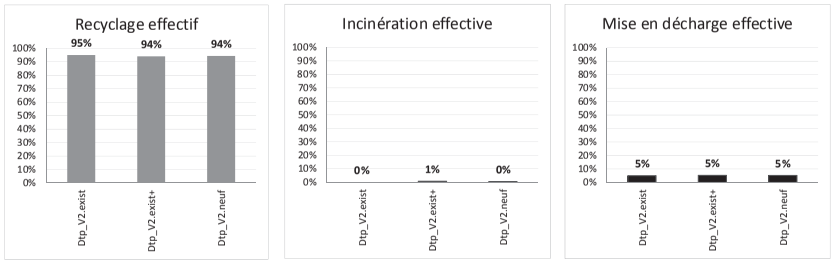


Bilan Valorisabilité

Dtp2_volume



Dtp2_poids



4.5. ÉCOBILANS

Les annexes ici présentées reprennent, par composante:

- un tableau issu de l'outil d'écobilan présentant la composition des parois, leurs dimensions, performances thermiques et durées de vie théoriques (pour rappel, les phases de remplacements n'ont pas été comptébilisées dans notre abalyse)
- un tableau reprenant les différents résultats fournis par l'outil par couche de matière, par phase et par indicateur considéré
- un récapitulatif graphique des impacts environnementaux

Composante Façade (F)

		Composants		Dimensions			Durée de vie	nces hygroth
Paroi		Composants	Densité	Epaisseur couche	Correction plein/vide	Epaisseur corrigée	durée de vie	Conduct therm
			ρ	e	α	d = e α	info table	λ
			kg/m³	m	%	m	années	W/mK
Composition 1	couche 1	enduit synthétique (silicones/silicat	1200	0,005	100%	0,005	30	0
F.exist+	couche 2	polystyrène expansé	30	0,22	100%	0,22	30	0,035
paroi type Fp1	couche 3	brique de terre cuite	1650	0,39	90%	0,351	> 50	1,08
U=0,15 W/m2K	couche 4	mortier bâtard (chaux et ciment)	1800	0,39	10%	0,039	> 50	0,8
	couche 5	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 6	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 7	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 8	enduit au plâtre	1200	0,018	100%	0,018	30	0,57
Composition 2	couche 1	enduit synthétique (silicones/silicat	1200	0,005	100%	0,005	30	0
F.neuf//exist+	couche 2	polystyrène expansé	30	0,22	100%	0,22	30	0,035
similaire à Fp1	couche 3	bloc de terre cuite plein	1000	0,39	90%	0,351	> 50	0,29
U=0,15 W/m2K	couche 4	mortier de ciment (ciment portland	1700	0,39	10%	0,039	> 50	1
	couche 5	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 6	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 7	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 8	enduit au plâtre	1200	0,018	100%	0,018	30	0,57
Composition 3	couche 1	enduit synthétique (silicones/silicat	1200	0,005	100%	0,005	30	0
F.neuf	couche 2	polystyrène expansé	30	0,08	100%	0,08	30	0,035
paroi type Fp8	couche 3	panneau OSB	500	0,018	100%	0,018	30	0,13
U=0,15 W/m2K	couche 4	cellulose en vrac	30	0,18	84%	0,1512	30	0,04
	couche 5	poutre bois massif résineux europé	600	0,18	16%	0,0288	> 50	0,13
	couche 6	panneau OSB	500	0,018	100%	0,018	30	0,13
	couche 7	lattage en bois résineux européen	600	0,05	6%	0,003	30	0,13
	couche 8	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
Composition 4	couche 1	bois de bardage résineux européen	600	0,02	100%	0,02	30	0,13
F.exist ++	couche 2	lattage en bois résineux européen	600	0,03	10%	0,003	30	0,13
paroi type Fp8	couche 3	panneau de fibres liées au bitume	300	0,018	100%	0,018	30	0,05
U=0,15 W/m2K	couche 4	cellulose en vrac	30	0,26	93%	0,2418	30	0,04
	couche 5	poutre bois massif résineux europé	600	0,26	7%	0,0182	> 50	0,13
	couche 6	Freine-vapeur film de polyéthylène	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,20
	couche 7	brique de terre cuite	1650	0,39	90%	0,351	> 50	1,08
	couche 8	mortier bâtard (chaux et ciment)	1800	0,39	10%	0,039	> 50	0,8
	couche 9	enduit à l'argile	1800	0,02	100%	0,02	30	0,8

Composition de Parois // Phases considérées	Matière (Q)					Energie grise (EG)					Effet de serre (GES)					
	kg/m²					MJ/m²					kg CO2/m²					
	(0) F.exist	(1) F.exist+	F.neuf//exi	(3) F.neuf	(4) F.exist++	(0) F.exist	(1) F.exist+	F.neuf//exi	(3) F.neuf	(4) F.exist++	(0) F.exist	(1) F.exist+	F.neuf//exi	(3) F.neuf	(4) F.exist++	
FAB exist	670,95	670,95	670,95	670,95	670,95	1784,61	1784,61	1784,61	1784,61	1784,61	152,90	152,90	152,90	152,90	152,90	concerne couche 3,4,8
ELIM exist	0,00	21,60	670,95	670,95	21,60	0,00	2,51	111,39	111,39	2,51	0,00	0,10	5,30	5,30	0,10	concerne couche 3,4,8 et 7 (pour F.exist++)
FAB neuf-couche 1	0,00	6,00	6,00	6,00	12,00	0,00	49,98	49,98	49,98	295,20	0,00	1,74	1,74	1,74	-16,32	
FAB neuf-couche 2	0,00	6,60	6,60	2,40	1,80	0,00	699,60	699,60	254,40	44,28	0,00	26,47	26,47	9,62	-1,76	
FAB neuf-couche 3	0,00	0,00	351,00	9,00	5,40	0,00	0,00	1000,35	327,60	224,64	0,00	0,00	83,54	-11,25	-0,32	
FAB neuf-couche 4	0,00	0,00	66,30	4,54	7,25	0,00	0,00	100,78	44,09	70,51	0,00	0,00	13,26	1,22	1,96	
FAB neuf-couche 5	0,00	0,00	0,00	17,28	10,92	0,00	0,00	0,00	425,09	268,63	0,00	0,00	0,00	-23,50	-14,85	
FAB neuf-couche 6	0,00	0,00	0,00	9,00	0,17	0,00	0,00	0,00	327,60	15,74	0,00	0,00	0,00	-11,25	0,45	
FAB neuf-couche 7	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	44,28	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,76	0,00	
FAB neuf-couche 8	0,00	21,60	21,60	11,25	0,00	0,00	37,15	37,15	68,06	0,00	0,00	1,73	1,73	3,97	0,00	
FAB neuf-couche 9	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	
somme (hors FAB.exist considéré comme 'amorti')	**0,00**	**55,80**	**1122,45**	**732,22**	**95,14**	**0,00**	**789,24**	**1999,24**	**1652,49**	**940,23**	**0,00**	**30,04**	**132,03**	**-25,91**	**-30,07**	

Composante Toiture à versant (Tv)

		Composants		Dimensions			Durée de vie	nces hygroth
Paroi		Composants	Densité	Epaisseur couche	Correction plein/vide	Epaisseur corrigée	durée de vie	Conduct therm
			ρ	e	α	d = e α	info table	λ
			kg/m³	m	%	m	années	W/mK
Composition 1	couche 1	tuile en terre cuite	1700	0,02	100%	0,02	> 50	1
T.exist+	couche 2	lattage en bois résineux européen	600	0,04	10%	0,004	30	0,13
paroi type Tp1	couche 3	pare-vapeur film de polyéthylène P	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
U=0,16 W/m2K	couche 4	poutre bois massif résineux europé	600	0,09	18%	0,0162	> 50	0,13
	couche 5	poutre bois massif résineux europé	600	0,23	8%	0,0184	> 50	0,13
	couche 6	cellulose en vrac	30	0,09	82%	0,0738	30	0,04
	couche 7	cellulose en vrac	30	0,23	92%	0,2116	30	0,04
	couche 8	Freine-vapeur film de polyéthylène	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
	couche 9	lattage en bois résineux européen	600	0,03	6%	0,0018	30	0,13
	couche 10	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
Composition 2	couche 1	tuile en terre cuite	1700	0,02	100%	0,02	> 50	1
T.neuf//exist+	couche 2	lattage en bois résineux européen	600	0,04	10%	0,004	30	0,13
similaire à Tp1	couche 3	pare-vapeur film de polyéthylène P	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
U=0,16 W/m2K	couche 4	poutre bois massif résineux europé	600	0,09	18%	0,0162	> 50	0,13
	couche 5	poutre bois massif résineux europé	600	0,23	8%	0,0184	> 50	0,13
	couche 6	cellulose en vrac	30	0,09	82%	0,0738	30	0,04
	couche 7	cellulose en vrac	30	0,23	92%	0,2116	30	0,04
	couche 8	Freine-vapeur film de polyéthylène	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
	couche 9	lattage en bois résineux européen	600	0,03	6%	0,0018	30	0,13
	couche 10	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
Composition 3	couche 1	tuile en terre cuite	1700	0,02	100%	0,02	> 50	1
T.neuf	couche 2	lattage en bois résineux européen	600	0,04	10%	0,004	30	0,13
paroi type Tp5	couche 3	panneaux de fibres de bois	160	0,05	100%	0,05	30	0,04
U=0,16 W/m2K	couche 4	panneau OSB	500	0,122	2%	0,00244	30	0,13
	couche 5	panneau multiplex	700	0,078	12%	0,009048	30	0,17
	couche 6	cellulose en vrac	30	0,122	98%	0,11956	30	0,04
	couche 7	cellulose en vrac	30	0,078	88%	0,068952	30	0,04
	couche 8	Freine-vapeur film de polyéthylène	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
	couche 9	lattage en bois résineux européen	600	0,03	6%	0,0018	30	0,13
	couche 10	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25

Composition de Parois // Phases considérées	Matière (Q)			Energie grise (EG)			Effet de serre (GES)		
	kg/m²			MJ/m²			kg CO2/m²		
	(1) T.exist+	2) T.neuf//exist·	(3) T.neuf	(1) T.exist+	2) T.neuf//exist·	(3) T.neuf	(1) T.exist+	2) T.neuf//exist·	(3) T.neuf
FAB exist	57,33	57,33	57,33	753,44	753,44	753,44	-18,23	-18,23	-18,23
ELIM exist	0	57,33	57,33	0,00	8,98	8,98	0	0,96	0,96
FAB neuf-couche 1	0,00	34,00	34,00	0,00	167,96	167,96	0,00	11,90	11,90
FAB neuf-couche 2	0,00	2,40	2,40	0,00	59,04	59,04	0,00	-2,35	-2,35
FAB neuf-couche 3	0,00	0,17	8,00	0,00	15,74	328,00	0,00	0,45	-0,72
FAB neuf-couche 4	0,00	9,72	1,22	0,00	239,11	44,41	0,00	-13,22	-1,53
FAB neuf-couche 5	0,00	11,04	6,33	0,00	271,58	267,91	0,00	-15,01	-8,17
FAB neuf-couche 6	2,21	2,21	3,59	21,52	21,52	34,86	0,60	0,60	0,97
FAB neuf-couche 7	6,35	6,35	2,07	61,70	61,70	20,11	1,71	1,71	0,56
FAB neuf-couche 8	0,17	0,17	0,17	15,74	15,74	15,74	0,45	0,45	0,45
somme (hors FAB.exist considéré comme 'amorti')	**8,73**	**123,39**	**115,11**	**98,96**	**861,39**	**947,01**	**2,76**	**-14,51**	**2,07**

Composante Toiture plate (Tp)

		Composants	Dimensions				Durée de vie	nces hygroth
Paroi		Composants	Densité	Epaisseur couche	Correction plein/vide	Epaisseur corrigée	durée de vie	Conduct therm
			ρ	e	α	d = e α	info table	λ
			kg/m³	m	%	m	années	W/mK
Composition 1	couche 1	Etanchéité résines réticulées EPDM	1200	0,0002	100%	0,0002	10 à 30	0,25
Tp.exist+	couche 2	mousse phénolique - panneau	35	0,05	100%	0,05	30	0,03
paroi type Tp6 (sur b	couche 3	Etanchéité bitumineuse plastomère APP	1150	0,0005	100%	0,0005	10 à 30	0,23
U=0,17 W/m²K	couche 4	lattage en bois résineux européen	600	0,022	100%	0,022	30	0,13
	couche 5	poutre bois massif résineux européen	600	0,18	10%	0,018	> 50	0,13
	couche 6	cellulose en vrac	30	0,18	90%	0,162	30	0,04
	couche 7	Freine-vapeur film de polyéthylène PE	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
	couche 8	lattage en bois résineux européen	600	0,04	6%	0,0024	30	0,13
	couche 9	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
	couche 10	plaque de fibro-plâtre	1150	0,0125	100%	0,0125	30	0,32
Composition 2	couche 1	Etanchéité résines réticulées EPDM	1200	0,0002	100%	0,0002	10 à 30	0,25
Tp.neuf//exist+	couche 2	mousse phénolique - panneau	35	0,05	100%	0,05	30	0,03
similaire à Tp6	couche 3	Rien	0	0	0%	0	0	0
U=0,17 W/m²K	couche 4	panneau OSB	500	0,022	100%	0,022	30	0,13
	couche 5	poutre bois massif résineux européen	600	0,18	10%	0,018	> 50	0,13
	couche 6	cellulose en vrac	30	0,18	90%	0,162	30	0,04
	couche 7	Freine-vapeur film de polyéthylène PE	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
	couche 8	lattage en bois résineux européen	600	0,04	6%	0,0024	30	0,13
	couche 9	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
	couche 10	Rien	0	0	0%	0	0	0
Composition 3	couche 1	Etanchéité résines réticulées EPDM	1200	0,0002	100%	0,0002	10 à 30	0,25
Tp.neuf	couche 2	panneau multiplex	700	0,022	100%	0,022	30	0,17
paroi type Tp10	couche 3	cellulose en vrac	30	0,078	98%	0,07644	30	0,04
U=0,17 W/m²K	couche 4	panneau OSB	500	0,078	2%	0,00156	30	0,13
	couche 5	panneau multiplex	700	0,142	12%	0,016472	30	0,17
	couche 6	cellulose en vrac	30	0,142	88%	0,125528	30	0,04
	couche 7	Freine-vapeur film de polyéthylène PE	850	0,0002	100%	0,0002	30	0,2
	couche 8	lattage en bois résineux européen	600	0,06	6%	0,0036	30	0,13
	couche 9	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
	couche 10	Rien	0	0	0%	0	0	0

Composition de Parois // Phases considérées	Matière (Q)			Energie grise (EG)			Effet de serre (GES)		
	kg/m²			MJ/m²			kg CO2/m²		
	(1) T.exist+	(2) T.neuf//exist+	(3) T.neuf	(1) T.exist+	(2) T.neuf//exist+	(3) T.neuf	(1) T.exist+	(2) T.neuf//exist+	(3) T.neuf
FAB exist	38,95	38,95	38,95	689,66	689,66	689,66	-23,16	-23,16	-23,16
ELIM exist	14,38	38,95	38,95	4,20	7,16	7,16	0,38	1,90	1,90
FAB neuf-couche 1	0,24	0,24	0,24	22,03	22,03	22,03	0,64	0,64	0,64
FAB neuf-couche 2	1,75	1,75	15,40	0,00	0,00	651,42	0,00	0,00	-19,87
FAB neuf-couche 3	0,00	0,00	2,29	0,00	0,00	22,29	0,00	0,00	0,62
FAB neuf-couche 4	0,00	11,00	0,78	0,00	400,40	28,39	0,00	-13,75	-0,98
FAB neuf-couche 5	0,00	10,80	11,53	0,00	265,68	487,74	0,00	-14,69	-14,87
FAB neuf-couche 6	4,86	4,86	3,77	47,24	47,24	36,60	1,31	1,31	1,02
FAB neuf-couche 7	0,17	0,17	0,17	15,74	15,74	15,74	0,45	0,45	0,45
FAB neuf-couche 8	1,44	1,44	2,16	35,42	35,42	53,14	-1,41	-1,41	-2,12
FAB neuf-couche 9	11,25	11,25	11,25	68,06	68,06	68,06	3,97	3,97	3,97
FAB neuf-couche 10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
somme (hors FAB.exist considéré comme 'amorti')	34,09	80,46	86,54	192,70	861,74	1392,58	5,34	-21,57	-29,23

Composante Dalle sur cave (Dc)

Paroi		Composants	Densité	Epaisseur couche	Correction plein/vide	Epaisseur corrigée	Durée de vie	Conduct therm
			ρ	e	α	d = e α	info table	λ
			kg/m³	m	%	m	années	W/mK
Composition 1	couche 1	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
D.exist+	couche 2	mortier colle	1600	0,001	100%	0,001	> 50	0,9
paroi type Dp5 (sur b	couche 3	chape ciment	1700	0,05	100%	0,05	> 50	1,15
U=0,28 W/m²K	couche 4	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
	couche 5	chape ciment	1700	0,013	100%	0,013	> 50	1,15
	couche 6	béton normal armé (dalles)	2400	0,12	96%	0,1152	> 50	2,5
	couche 7	acier d'armatures	7800	0,12	4%	0,0048	> 50	50
	couche 8	mortier colle	1600	0,001	100%	0,001	> 50	0,9
	couche 9	polyuréthane - panneau	40	0,08	100%	0,08	30	0,025
	couche 10	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
	couche 11	plaque de fibro-plâtre	1150	0,0125	100%	0,0125	30	0,32
Composition 2	couche 1	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
D.neuf//exist+	couche 2	mortier colle	1600	0,001	100%	0,001	> 50	0,9
similaire à Dp5	couche 3	chape ciment	1700	0,05	100%	0,05	> 50	1,15
U=0,28 W/m²K	couche 4	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 5	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 6	béton normal armé (dalles)	2400	0,12	96%	0,1152	> 50	2,5
	couche 7	acier d'armatures	7800	0,12	4%	0,0048	> 50	50
	couche 8	mortier colle	1600	0,001	100%	0,001	> 50	0,9
	couche 9	polyuréthane - panneau	40	0,08	100%	0,08	30	0,025
	couche 10	plaque de carton plâtre	900	0,0125	100%	0,0125	30	0,25
	couche 11	Rien	0			0	0	0
Composition 3	couche 1	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
D.neuf	couche 2	mortier colle	1600	0,001	100%	0,001	> 50	0,9
paroi type Dp9	couche 3	chape ciment	1700	0,05	100%	0,05	> 50	1,15
U=0,28 W/m²K	couche 4	polyuréthane - panneau	40	0,065	100%	0,065	30	0,025
	couche 5	chape de compression sur hourdis	1700	0,05	100%	0,05	> 50	1,15
	couche 6	béton normal armé (dalles)	2400	0,12	3,00%	0,0036	> 50	2,5
	couche 7	acier d'armatures	7800	0,12	0,60%	0,00072	> 50	50
	couche 8	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 9	polystyrène extrudé	35	0,12	86,00%	0,1032	30	0,035
	couche 10	enduit au plâtre	1200	0,0125	100%	0,0125	30	0,57
	couche 11	Rien	0			0	0	0

Composition de Parois // Phases considérées	Matière (Q)			Energie grise (EG)			Effet de serre (GES)		
	kg/m²			MJ/m²			kg CO2/m²		
	(1) D.exist+	(2) D.neuf//exist+	(3) D.neuf	(1) D.exist+	(2) D.neuf//exist+	(3) D.neuf	(1) D.exist+	(2) D.neuf//exist+	(3) D.neuf
FAB exist	380,40	380,40	380,40	1214,72	1214,72	1214,72	118,51	118,51	118,51
ELIM exist	14,38	380,40	380,40	4,20	69,74	69,74	0,38	3,73	3,73
FAB neuf-couche 1	30,00	30,00	30,00	449,70	449,70	449,70	22,80	22,80	22,80
FAB neuf-couche 2	1,60	1,60	1,60	39,84	39,84	39,84	1,76	1,76	1,76
FAB neuf-couche 3	85,00	85,00	85,00	109,82	109,82	109,82	14,45	14,45	14,45
FAB neuf-couche 4	0,00	0,00	2,60	0,00	0,00	267,80	0,00	0,00	10,95
FAB neuf-couche 5	0,00	0,00	85,00	0,00	0,00	109,82	0,00	0,00	14,45
FAB neuf-couche 6	0,00	276,48	8,64	0,00	168,65	5,27	0,00	30,41	0,95
FAB neuf-couche 7	0,00	37,44	5,62	0,00	497,95	74,69	0,00	57,66	8,65
FAB neuf-couche 8	1,60	1,60	0,00	39,84	39,84	0,00	1,76	1,76	0,00
FAB neuf-couche 9	3,20	3,20	3,61	329,60	329,60	337,36	13,47	13,47	13,47
FAB neuf-couche 10	11,25	11,25	15,00	68,06	68,06	25,80	3,97	3,97	1,20
FAB neuf-couche 11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
somme (hors FAB.exist considéré comme 'amorti')	**147,03**	**826,97**	**617,46**	**1041,06**	**1773,21**	**1489,85**	**58,59**	**150,01**	**92,41**

Composante Dalle sur terre-plein (Dtp)

Paroi		Composants	Densité	Epaisseur couche	Correction plein/vide	Epaisseur corrigée	Durée de vie	Conduct therm
			ρ	e	α	d = e α	info table	λ
			kg/m³	m	%	m	années	W/mK
Composition 1	couche 1	plancher massif - feuillus européen	800	0,015	100%	0,015	30	0,18
D.exist+ (V2)	couche 2	panneau OSB	500	0,022	100%	0,022	30	0,13
paroi type Dp1 (sur b	couche 3	cellulose en vrac	30	0,16	90%	0,144	30	0,04
U=0,28 W/m²K	couche 4	poutre bois massif résineux européen	600	0,16	10%	0,016	> 50	0,13
	couche 5	Voile de polyéthylène PE	950	0,0004	100%	0,0004	10 à 30	0,33
	couche 6	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
	couche 7	chape ciment	1700	0,013	100%	0,013	> 50	1,15
	couche 8	béton normal armé (dalles)	2400	0,12	96%	0,1152	> 50	2,5
	couche 9	acier d'armatures	7800	0,12	4%	0,0048	> 50	50
	couche 10	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 11	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 12	sable de rivière/mer	2000	0,1	100%	0,1	> 50	2
Composition 3	couche 1	plancher massif - feuillus européen	800	0,015	100%	0,015	30	0,18
D.neuf	couche 2	panneau OSB	500	0,022	100%	0,022	30	0,13
paroi type Dp3	couche 3	Rien	0	0	0%	0	0	0
U=0,28 W/m²K	couche 4	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 5	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 6	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 7	chape ciment	1700	0,05	100%	0,05	> 50	1,15
	couche 8	béton normal armé (dalles)	2400	0,15	96%	0,144	> 50	2,5
	couche 9	acier d'armatures	7800	0,15	4%	0,006	> 50	50
	couche 10	panneau de liège	120	0,12	100%	0,12	30	0,04
	couche 11	Voile de polyéthylène PE	950	0,0006	100%	0,0006	10 à 30	0,33
	couche 12	sable de rivière/mer	2000	0,1	100%	0,1	> 50	2
Composition 2	couche 1	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
D.exist+(V1)	couche 2	mortier colle	1600	0,001	100%	0,001	> 50	0,9
similaire à Dp1	couche 3	chape ciment	1700	0,05	100%	0,05	> 50	1,15
U=0,28 W/m²K	couche 4	polyuréthane - panneau	40	0,08	100%	0,08	30	0,025
	couche 5	Voile de polyéthylène PE	950	0,0004	100%	0,0004	10 à 30	0,33
	couche 6	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
	couche 7	chape ciment	1700	0,013	100%	0,013	> 50	1,15
	couche 8	béton normal armé (dalles)	2400	0,12	96%	0,1152	> 50	2,5
	couche 9	acier d'armatures	7800	0,12	4%	0,0048	> 50	50
	couche 10	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 11	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 12	sable de rivière/mer	2000	0,1	100%	0,1	> 50	2
Composition 3	couche 1	carrelage grès cérame	2000	0,015	100%	0,015	> 50	1,2
D.neuf //exist+ (V1)	couche 2	mortier colle	1600	0,001	100%	0,001	> 50	0,9
paroi type Dp3	couche 3	chape ciment	1700	0,05	100%	0,05	> 50	1,15
U=0,28 W/m²K	couche 4	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 5	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 6	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 7	Rien	0	0	0%	0	0	0
	couche 8	béton normal armé (dalles)	2400	0,15	96%	0,144	> 50	2,5
	couche 9	acier d'armatures	7800	0,15	4%	0,006	> 50	50
	couche 10	polyuréthane - panneau	40	0,08	100%	0,08	30	0,025
	couche 11	Voile de polyéthylène PE	950	0,0006	100%	0,0006	10 à 30	0,33
	couche 12	sable de rivière/mer	2000	0,1	100%	0,1	> 50	2

Composition de Parois // Phases considérées	Matière (Q)			Energie grise (EG)			Effet de serre (GES)		
	kg/m²			MJ/m²			kg CO2/m²		
	(1) D.exist+	(1) D.exist+ (V1)	(3) D.neuf (V1)	(1) D.exist+	(1) D.exist+ (V1)	(3) D.neuf (V1)	(1) D.exist+	(1) D.exist+ (V1)	(3) D.neuf (V1)
FAB exist	566,02	566,02	566,02	1156,60	1156,60	1156,60	115,11	115,11	115,11
ELIM exist	0	0,00	566,02	0,00	0,00	112,54	0,00	0,00	5,72
FAB neuf-couche 1		10,80	12,00		254,88	283,20		-14,69	-16,32
FAB neuf-couche 2		1,10	11,00		40,04	400,40		-1,38	-13,75
FAB neuf-couche 3		4,32	0,00		41,99	0,00		1,17	0,00
FAB neuf-couche 4		9,60	0,00		236,16	0,00		-13,06	0,00
FAB neuf-couche 5		0,38	0,00		36,25	0,00		1,09	0,00
FAB neuf-couche 6		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
FAB neuf-couche 7		0,00	85,00		0,00	109,82		0,00	14,45
FAB neuf-couche 8		0,00	345,60		0,00	210,82		0,00	38,02
FAB neuf-couche 9		0,00	46,80		0,00	622,44		0,00	72,07
FAB neuf-couche 10		0,00	14,40		0,00	753,12		0,00	-10,22
FAB neuf-couche 11		0,00	0,57		0,00	54,38		0,00	1,63
FAB neuf-couche 12		0,00	200,00		0,00	11,74		0,00	0,48
somme (hors FAB.exist considéré comme 'amorti')		**26,20**	**1281,39**		**609,32**	**2558,46**		**-26,87**	**92,07**

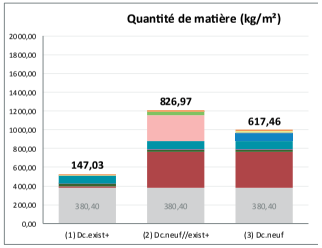
	(1) D.exist+	(1) D.exist+ (V1)	(3) D.neuf (V1)	(1) D.exist+	(1) D.exist+ (V1)	(3) D.neuf (V1)	(1) D.exist+	(1) D.exist+ (V1)	(3) D.neuf (V1)
FAB exist	566,02	566,02	566,02	1156,60	1156,60	1156,60	115,11	115,11	115,11
ELIM exist	0	0,00	566,02	0,00	0,00	112,54	0,00	0,00	5,72
FAB neuf-couche 1		10,80	12,00		254,88	283,20		-14,69	-16,32
FAB neuf-couche 2		1,10	11,00		40,04	400,40		-1,38	-13,75
FAB neuf-couche 3		4,32	0,00		41,99	0,00		1,17	0,00
FAB neuf-couche 4		9,60	0,00		236,16	0,00		-13,06	0,00
FAB neuf-couche 5		0,38	0,00		36,25	0,00		1,09	0,00
FAB neuf-couche 6		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
FAB neuf-couche 7		0,00	85,00		0,00	109,82		0,00	14,45
FAB neuf-couche 8		0,00	345,60		0,00	210,82		0,00	38,02
FAB neuf-couche 9		0,00	46,80		0,00	622,44		0,00	72,07
FAB neuf-couche 10		0,00	14,40		0,00	753,12		0,00	-10,22
FAB neuf-couche 11		0,00	0,57		0,00	54,38		0,00	1,63
FAB neuf-couche 12		0,00	200,00		0,00	11,74		0,00	0,48
somme (hors FAB.exist considéré comme 'amorti')		**26,20**	**1281,39**		**609,32**	**2558,46**		**-26,87**	**92,07**

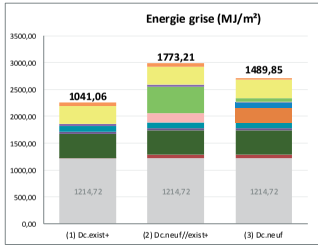
Synthèse des écobilans

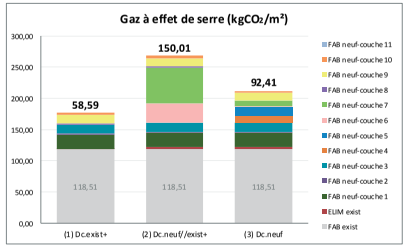


Bilan Environnemental

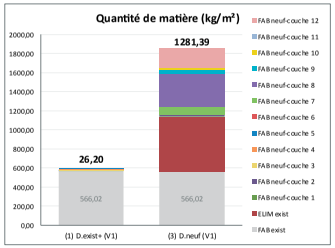
Dc

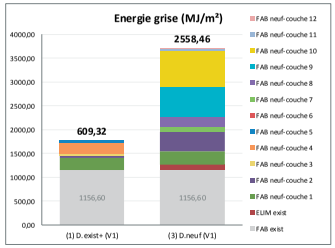


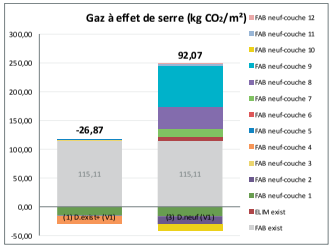




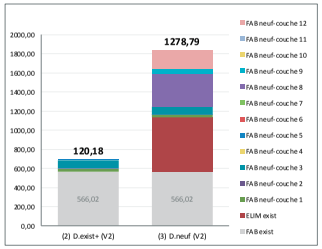
Dtp_V1

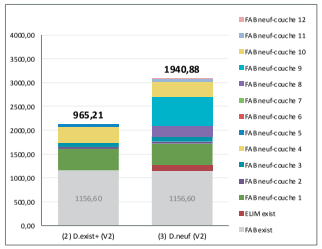


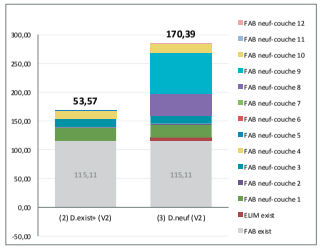




Dtp_V2

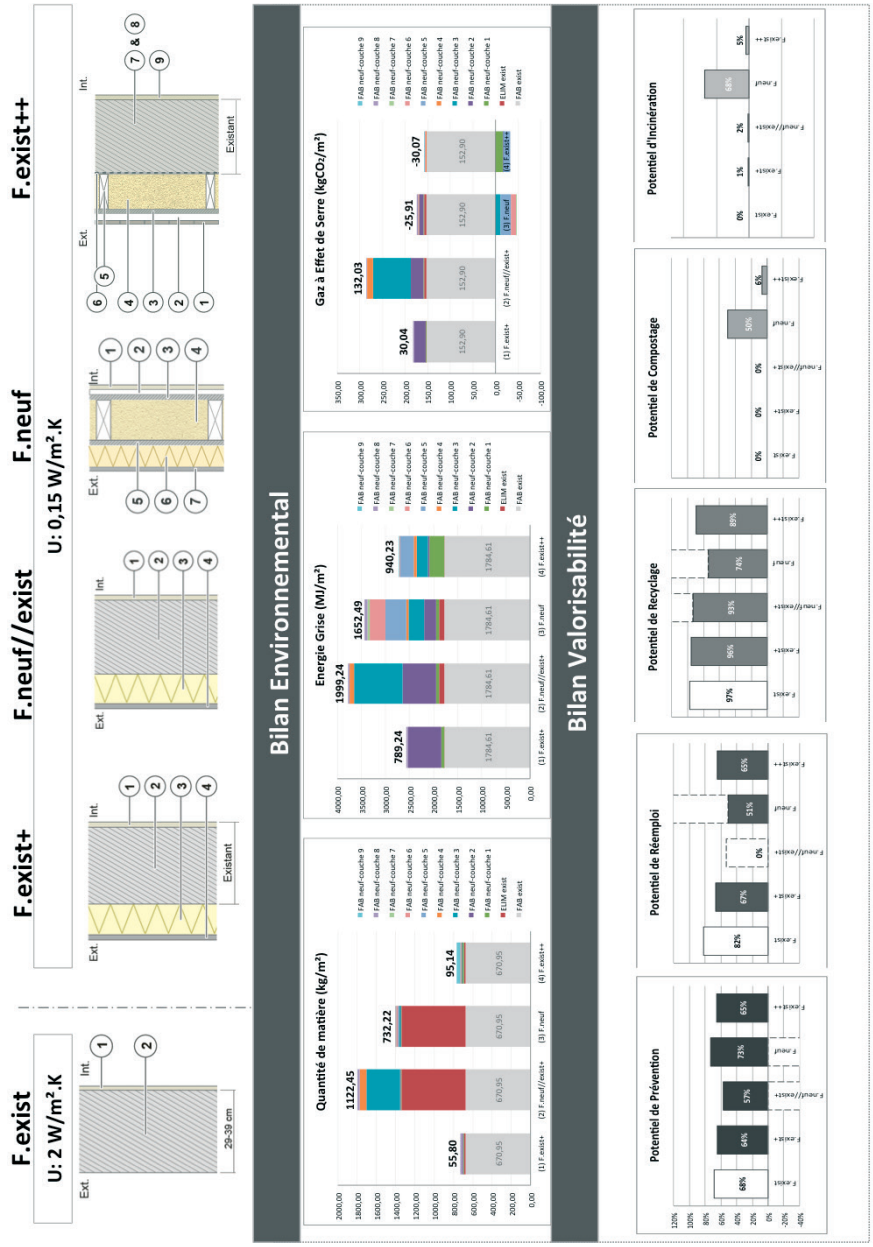




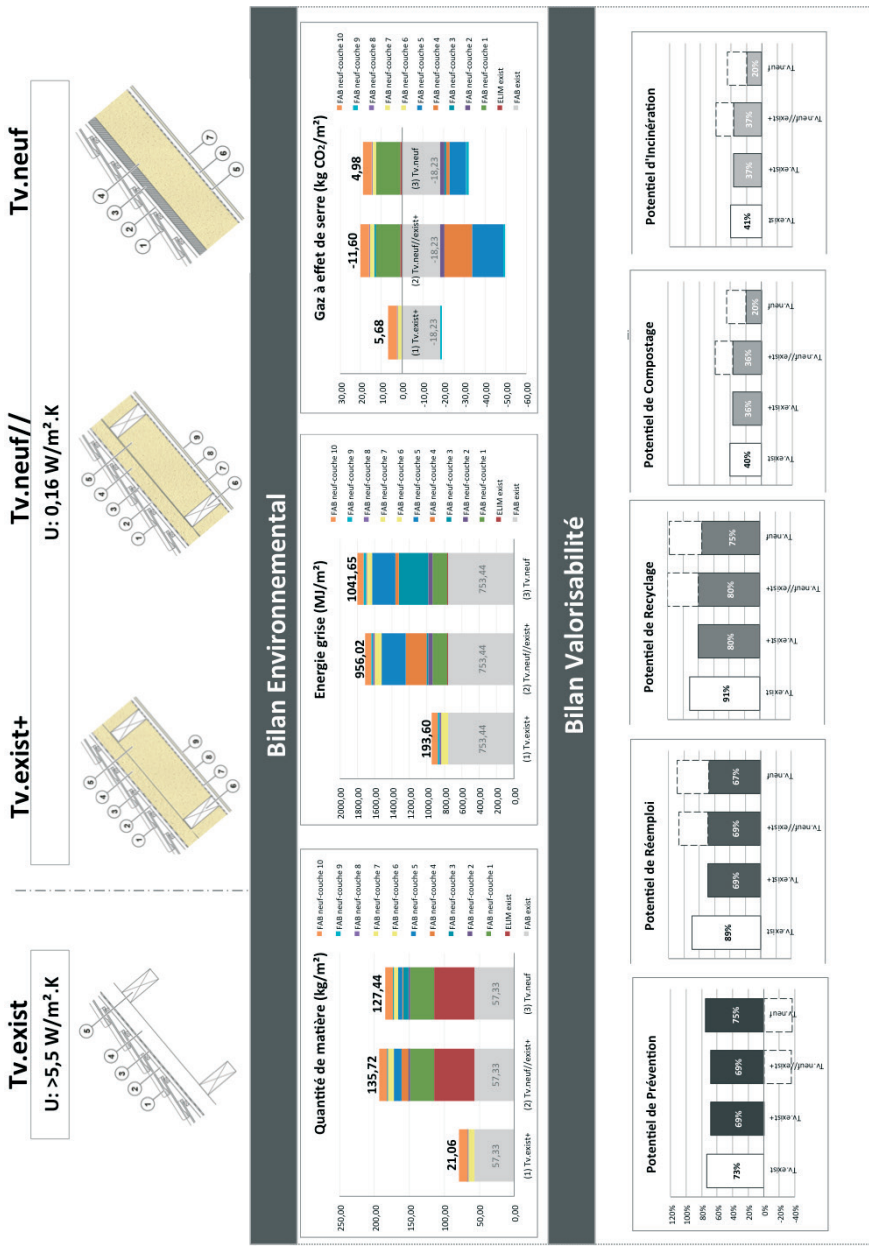


4.6. VALORISABILITÉ // ÉCOBILAN: synthèse par composante

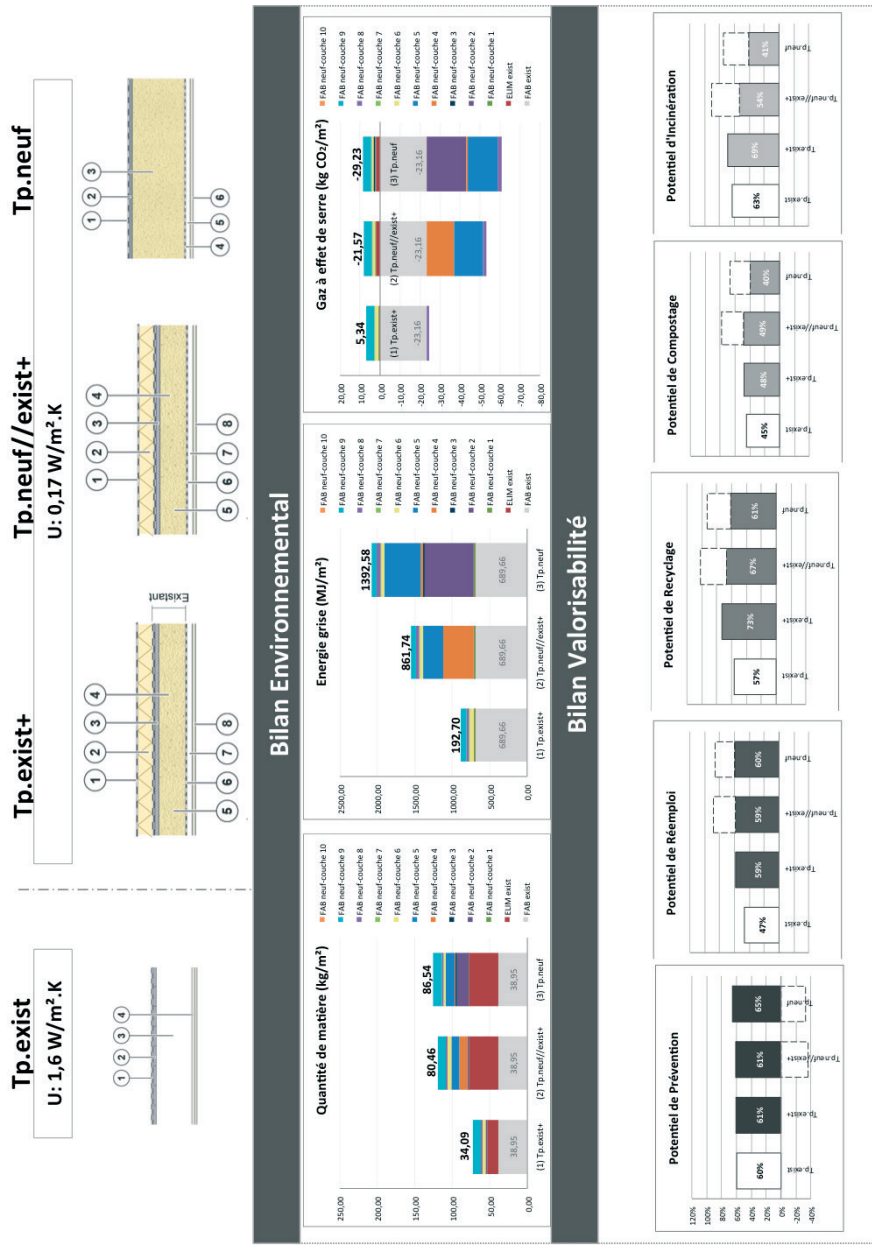
Composante Façade (F)



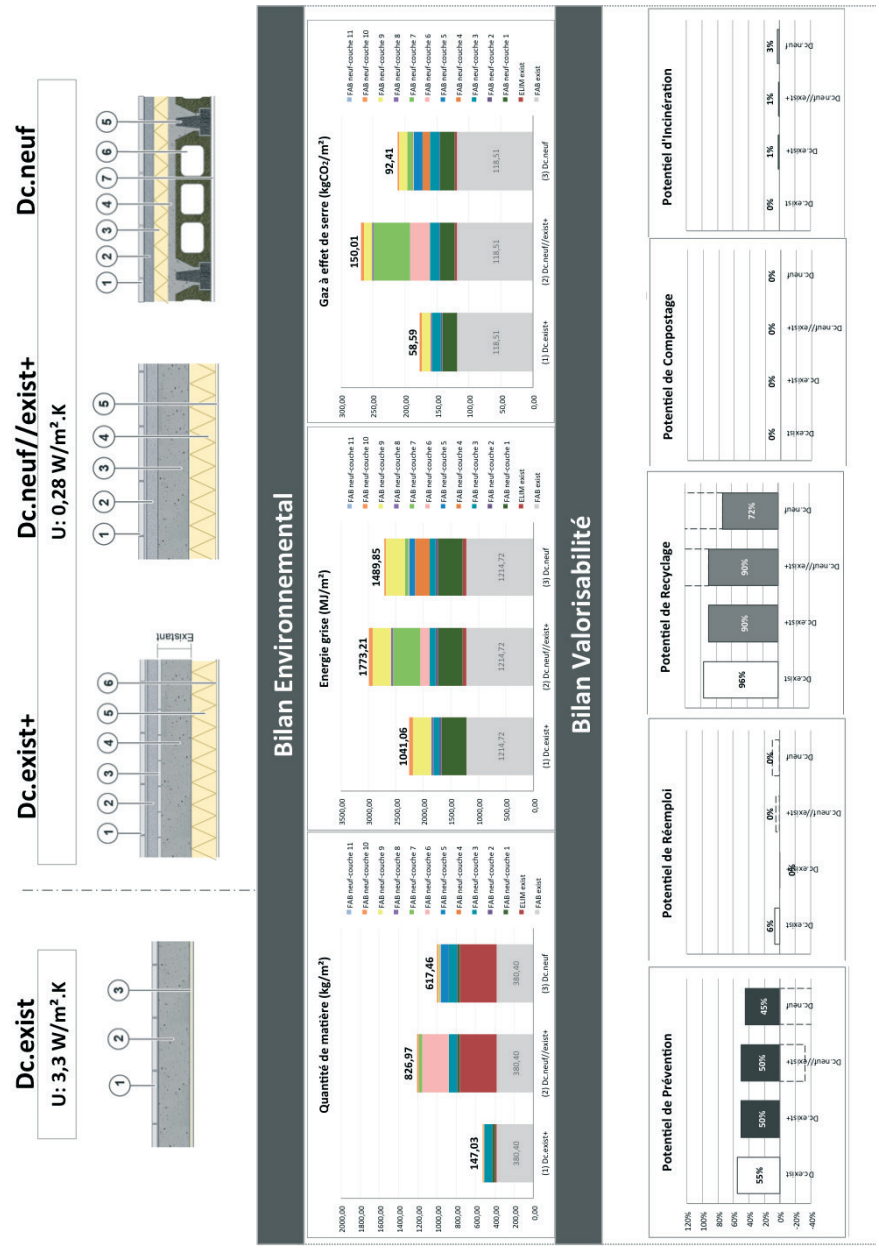
Composante Toiture à versant (Tv)



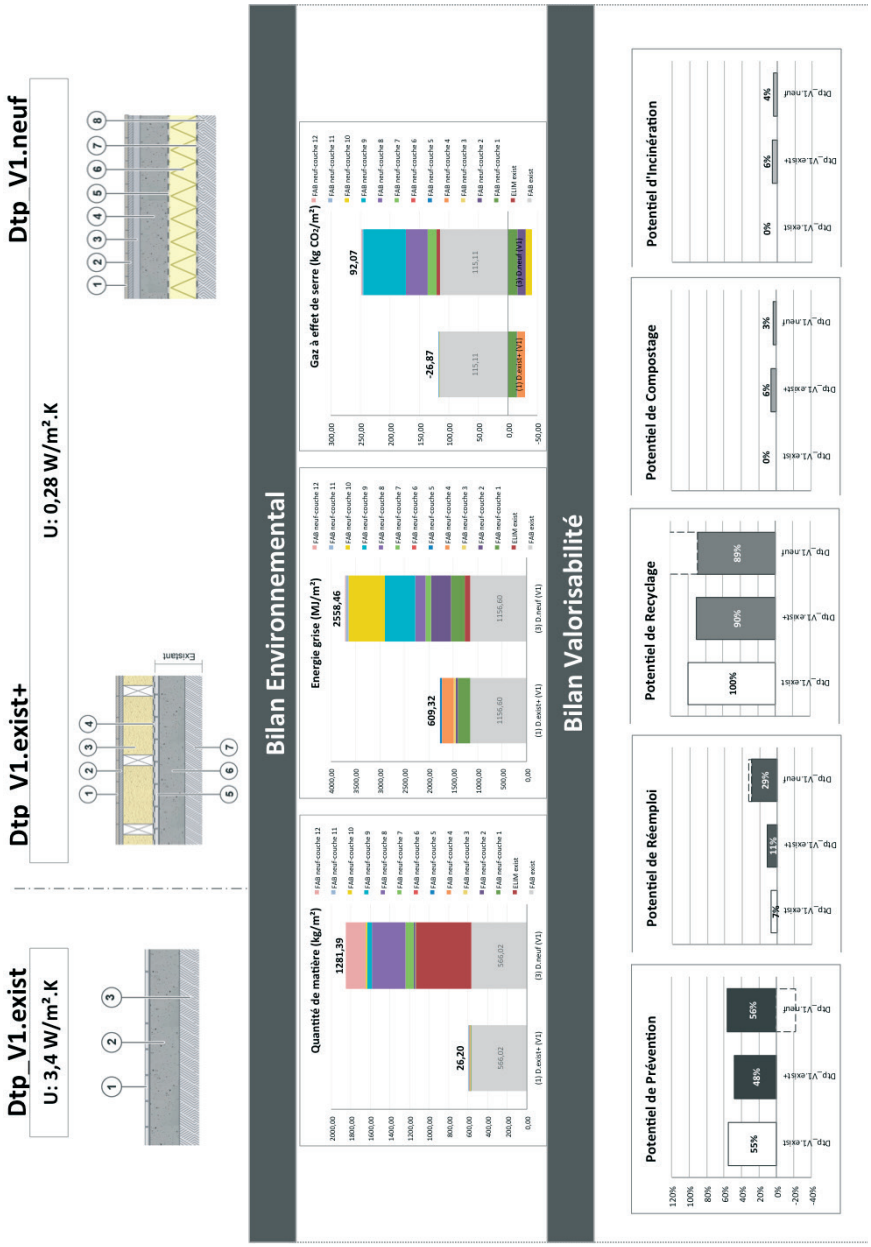
Composante Toiture plate (Tp)

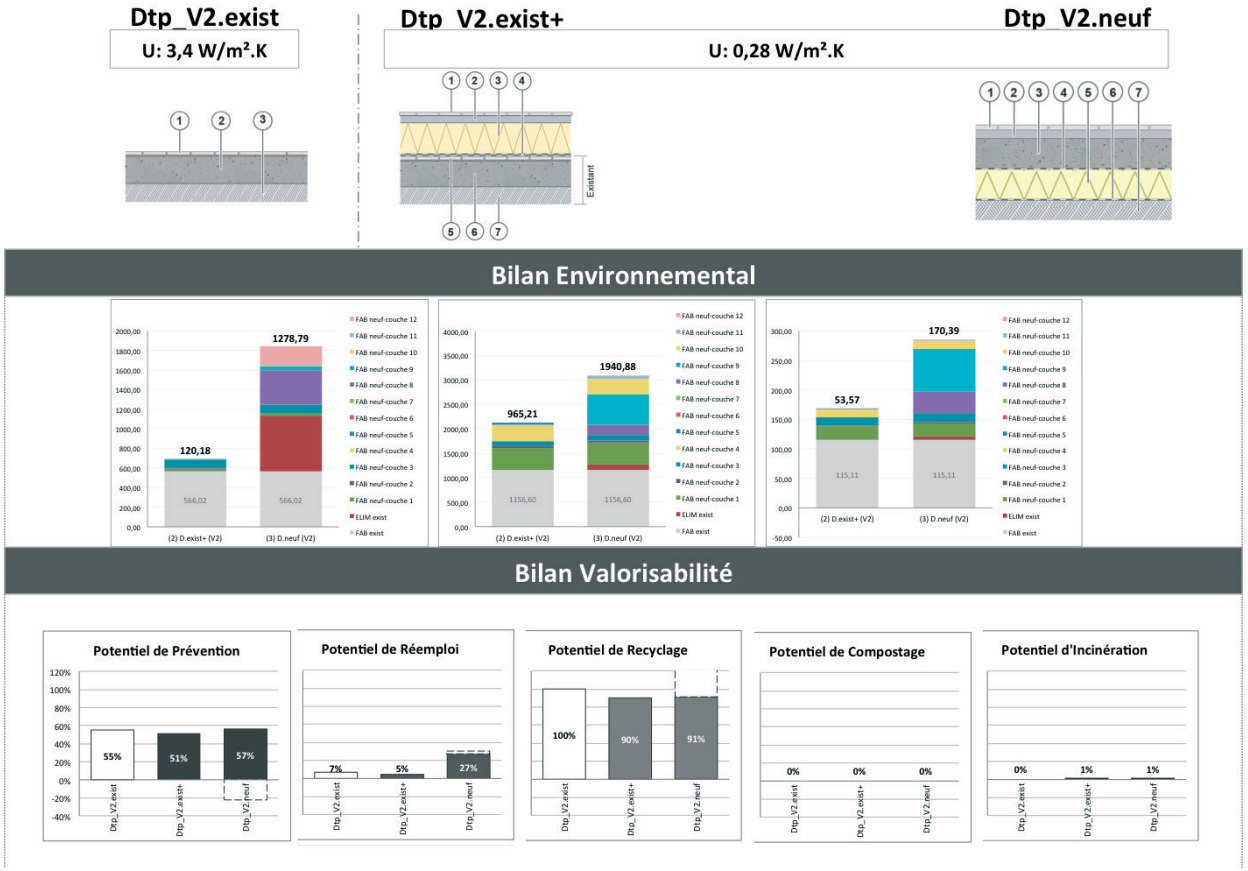


Composante Dalle sur cave (Dc)



Composante Dalle sur terre-plein (Dtp)




Dtp_V2.exist
U: 3,4 W/m².K
Dtp_V2.exist+
U: 0,28 W/m².K
Dtp_V2.neuf
Existant
Bilan Environnemental
120,18
1278,79
566,02
566,02
965,21
1940,88
1156,60
1156,60
53,57
170,39
115,11
115,11
(2) D.exist+ (V2)
(3) D.neuf (V2)
Bilan Valorisabilité
Potentiel de Prévention
55%
51%
57%
Potentiel de Réemploi
7%
5%
27%
Potentiel de Recyclage
100%
90%
91%
Potentiel de Compostage
0%
0%
0%
Potentiel d'Incinération
0%
1%
1%
Dtp_V2.exist
Dtp_V2.exist+
Dtp_V2.neuf